



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ANALÝZA STAVU POTRUBÍ ODVODNĚNÍ PARNÍ
TURBÍNY K 220-44 A NÁVRH KOREKTIVNÍCH OPATŘENÍ**

ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE K 220-44 STEAM TURBINE DRAINAGE PIPELINE AND
PROPOSAL OF CORRECTIVE MEASURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiljí Horký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Šnajdárek, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Jiljí Horký**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Šnajdárek, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza stavu potrubí odvodnění parní turbíny K 220–44 a návrh korektivních opatření

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Systém odvodnění parní turbíny je nedílná součást zajištění odvodu kondenzátu z pracovního prostoru parní turbíny. Tento systém se tak podílí na redukci erozního poškození lopatkové části turbíny způsobené kapalnou fází vody. Na potrubí odvodnění parní turbíny se často vyskytují závady (zeslabení tloušťek stěn potrubí, póry v potrubí a ve svarech), které jsou důsledkem erozní koroze. Charakter této práce spočívá ve zmapování současného stavu závad na vybraném dlouhodobě provozovaném zařízení včetně provedení rešerše této problematiky a navrhnout způsob řešení oprav.

Cíle diplomové práce:

Rešerše odvodnění parních turbín, páry a erozní koroze.

Zmapování závad a jejich oprav na odvodnění vybrané dlouhodobě provozované turbíny.

Tvorba 3D modelu odvodnění s vyznačením závad.

Návrhy na konceptuální řešení oprav dle rozsahu poškození.

Seznam doporučené literatury:

KONINGS, Rudy J.M. a Roger E. STOLLER. Comprehensive Nuclear Materials 2nd Edition. Amsterdam: Elsevier, 2020. ISBN 9780081028650.

JAPIKSE, David a Nicholas C. BAINES. Introduction to Turbomachinery. New York: Concepts ETI, 1997. ISBN 978-0933283107.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou stavu potrubí odvodnění parní turbíny Škoda K 220-44 provozované v Jaderné elektrárně Dukovany a návrhem korektivních opatření. Mezi cíle práce patří vytvoření rešerše odvodnění parních turbín, páry, erozní koroze a zmapování závad na dlouhodobě provozovaném odvodnění. Součástí práce je také vyhodnocení analyzovaných dat z ultrazvukového měření tloušťky stěn potrubí odvodnění. Práce navíc obsahuje obrázky z vytvořeného 3D modelu, na kterém jsou místa závad a měření zobrazeny.

Klíčová slova

Parní turbína, odvodnění, jaderná elektrárna, erozní koroze, sekundární okruh, pára, kondenzát, armatury, potrubí, vodní hospodářství

ABSTRACT

This diploma thesis deals the analysis of the drainage pipeline of the Škoda K 220-44 steam turbine. This turbine is operated in Dukovany Nuclear Power Plant. One part of this work is proposal of corrective measures. The aims of this work include the creation of a search for drainage, steam, erosion corrosion and mapping of defects in long-term operated drainage system. Work also includes the evaluation of measured values of the pipe wall thickness measured by ultrasonic analyzer. In addition, the work contains images created from 3D model, on which the locations of defects and measurements are displayed.

Key words

Steam turbine, drainage, nuclear power plant, erosion corrosion, power generation circuit, steam, condensate, fittings, piping, water management

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORKÝ, Jiljí. *Analýza stavu potrubí odvodnění parní turbíny K 220-44 a návrh korektivních opatření* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132331>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ladislav Šnajdárek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Analýza stavu potrubí odvodnění parní turbíny K 220-44 a návrh korektivních opatření* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ladislava Šnajdárka, Ph.D. V seznamu literatury jsem uvedl všechny použité zdroje.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Ladislavu Šnajdárkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi v průběhu psaní poskytoval. Dále také Ing. Robinu Treterovi, díky kterému mi bylo umožněno předloženou diplomovou práci vypracovat a který mi v průběhu tvorby práce zajistil dostatek prostředků a informací k jejímu dokončení. Touto cestou chci také poděkovat rodině a přátelům, kteří mi byli v průběhu studia a při tvorbě práce oporou.

OBSAH

ÚVOD	9
1 Vybrané systémy sekundárního okruhu.....	11
1.1 Parní turbína K 220-44	16
1.1.1 Odvodnění parní turbíny	21
1.2 Rozvod páry	29
1.2.1 Odvodnění rozvodů páry	30
1.3 Systém pomocných nádrží	32
1.4 Odvaděče kondenzátu	34
1.4.1 Hladinový odvaděč kondenzátu	34
1.4.2 Bimetalový odvaděč kondenzátu	37
1.4.3 Termicko-plovákový odvaděč kondenzátu	39
1.5 Vodní hospodářství jaderné elektrárny	40
2 Koroze a metody oprav.....	43
2.1 Koroze	43
2.1.1 Formy koroze	44
2.1.2 Ochrany proti korozi	48
2.2 Opravy potrubních systémů sekundárního okruhu	51
2.2.1 Utěsňování přírubových spojů	52
2.2.2 Utěsňování defektů na potrubí	59
2.2.3 Utěsňování armatur.....	60
3 Zmapování provedených oprav	62
3.1 NT kolektor odvodnění	62
3.2 VT kolektor odvodnění.....	64
4 Analýza současného stavu a vyhodnocení	70
4.1 VT odvodňovací kolektor	75
4.2 NT kolektor odvodnění	79
4.3 Vyhodnocení	83
ZÁVĚR.....	91
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	93
SEZNAM ZKRATEK A POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	96
SEZNAM OBRÁZKŮ	98
SEZNAM TABULEK	100

ÚVOD

V České republice bylo v roce 2020 vyrobeno 37,2 % elektrické energie v jaderných elektrárnách. Jaderná energetika tak zabírá první místo v žebříčku využívaných zdrojů [1].

Historie využívání jaderné energie v českých zemích však začala již v roce 1955, kdy byla podepsána dohoda mezi ČSSR a SSSR o sovětské pomoci při výstavbě centra jaderného výzkumu a výchově specialistů v jaderných oborech. V roce 1956 byl v Československu zahájen vývoj těžkovodního reaktoru chlazeného plynem (A1 v Jaslovských Bohunicích). Jednalo se o reaktor využívající neobohacený přírodní uran (domácí surovina). Po dvou haváriích byl reaktor v roce 1977 vyřazen z provozu a byla zahájena jeho likvidace. Dalším důležitým milníkem byl rok 1970, kdy byla uzavřena další mezivládní dohoda mezi ČSSR a SSSR o spolupráci při výstavbě jaderných elektráren. Výstavba dvou reaktorů v elektrárně V1 v Jaslovských Bohunicích začala v roce 1972 a uvedeny byly do provozu v letech 1978 a 1979. Další dva reaktory v elektrárně V2 (Jaslovské Bohunice) se začaly stavět v roce 1976 a uvedeny byly do provozu v roce 1984 a 1985. Historie Jaderné elektrárny Dukovany začala v roce 1975 rozhodnutím vlády o výstavbě čtyř bloků. Stavební práce začaly již v roce 1978 a v roce 1985 došlo ke spuštění prvního bloku. V roce 1986 následoval druhý a třetí blok a v roce 1987 byl spuštěn blok čtvrtý. Výstavbu Jaderné elektrárny Temelín zkomplikovaly politické a ekonomické důvody. O výstavbě elektrárny v lokalitě Temelín bylo rozhodnuto již v roce 1980, původně se mělo jednat o čtyři bloky VVER 1000. Samotná stavba byla zahájena v roce 1987. Po roce 1989 byla přehodnocena výstavba čtyř bloků a v roce 1993 bylo tehdejší vládou rozhodnuto o výstavbě pouze dvou bloků. Do plného provozu byly bloky uvedeny v roce 2002 a 2003. Od této chvíle se v České republice další jaderné bloky nestaví. Probíhala zde příprava dostavby Temelína, ale v roce 2014 byl tendr na dodavatele zrušen z ekonomických důvodů a neochotě tehdejší vlády výstavbu podpořit. V současné době je aktuálním tématem dostavba Jaderné elektrárny Dukovany, jejíž životnost se odhaduje do roku 2035, s možností prodloužení v závislosti na technickém stavu a ekonomické rentabilitě případných oprav či výměn zařízení [2][3][4].

Provoz jakéhokoli jaderného zařízení musí být v České republice v souladu s atomovým zákonem. Ten definuje požadavky, který musí každý provozovatel dodržovat a v průběhu provozu dokládat. Jedním z požadavků atomového zákona je, že provozovatel musí mít dostatečný přehled o technickém stavu provozovaného zařízení. Je také povinen současný technický stav prokazovat a hlásit na příslušné úřady (jedná se především o Státní úřad pro jadernou bezpečnost – SÚJB a Mezinárodní agenturu pro atomovou energii – MAAE). Z tohoto důvodu existuje v jaderné elektrárně řada pracovních pozic, které mají za úkol zajistit pravidelné kontroly technického stavu zařízení za provozu i při odstávkách. Nemusí se jednat jen o zařízení primárního okruhu, důležité jsou všechny navazující systémy, které mají nějakým způsobem vliv na provoz a výrobu elektřiny, funkci bezpečnostních systémů, záloh apod. Zařízení elektráren jsou koncipována pro dlouhodobý provoz, a proto jakákoliv porucha zařízení, která vyústí v případné odstavení bloku může nepříznivě působit na ostatní zařízení a zkracovat jejich životnost. Případná neplánovaná odstávka také způsobuje výrazné finanční ztráty z nevýroby [2][3][4].

Důležitou součástí sekundárního okruhu je systém odvodnění. Má za úkol odstranit z prostoru, kde se nachází pára vzniklý kondenzát. Odvádění kondenzátu má příznivý vliv na

opotřebení stěn parovodů a lopatek parních turbín. Potrubí odvodnění je však teplotně a tlakově namáháno a po více než třiceti letech provozu se na něm začínají objevovat závady. Jedná se především o erozní korozi, která vede k zeslabování tloušťek stěn potrubí a ke vzniku pórů v kolenech a svarech.

Cílem této diplomové práce je zmapování současného stavu odvodnění na turbogenerátoru prvním bloku Jaderné elektrárny Dukovany a určení, zda potrubí při současném opotřebení vyhovuje teplotním a tlakovým požadavkům, zmapování případných nebezpečných míst a návrhu, zda potrubí potřebuje případnou opravu nebo výměnu. Součástí práce je i řešení problematiky erozní koroze, popis systému odvodnění sekundárního okruhu a jeho návazností a tvorba 3D modelů odvodnění s vyznačením nebezpečných míst.

1 Vybrané systémy sekundárního okruhu

Sekundární část tvoří společně s primární částí funkční celek jaderného bloku. Mezi základní funkce sekundární části patří [5]:

- a) přeměna tepelné energie vzniklé v primární části a předané v parogenerátorech na mechanickou energii rotujícího turbosoustrojí a následná přeměna této energie v energii elektrickou
- b) zajištění dochlazování bloku při odstávce (plánované i neplánované)
- c) vyvedení tepelné energie pro vytápění objektů jaderné elektrárny
- d) doprava surové vody do objektu jaderné elektrárny
- e) odvod zbytkového tepla nevyužitého při přeměně tepelné energie na elektrickou do okolního prostředí (atmosféra, vodní tok)
- f) zajištění napájení důležitých komponent jaderné elektrárny autonomním zdrojem při neplánovaných událostech
- g) výroba, doprava a skladování technických plynů potřebných pro zajištění výroby elektrické energie
- h) dodávka a skladování maziv a pohonných hmot
- i) výroba a zajištění dodávky stlačeného vzduchu a jeho úpravu do požadovaného stavu
- j) zajištění odvodu tepla z komponent primárního a sekundárního okruhu, která mají vlastní chladicí okruhy
- k) odvod a úprava odpadních vod na požadovanou úroveň, aby nedocházelo k poškozování životního prostředí

V Jaderné elektrárně Dukovany se nacházejí 4 bloky VVER 440, elektrický výkon jednoho bloku po modernizaci může dosahovat cca 500 MW. Vyvedení tepelného výkonu z oběhu je pouze pro technologické účely a pro vytápění objektů elektrárny. Jedná se o tepelný výkon přibližně 14,5 MW. Jeden blok obsahuje jaderný reaktor, jehož tepelnou energii zpracovávají dvě turbosoustrojí. Na jeden primární okruh připadají dva okruhy sekundární, výhodou tohoto uspořádání je, že při poruše jednoho turbogenerátoru existuje možnost provozu bloku alespoň na poloviční výkon. Nevýhodou je větší množství strojních zařízení, která se musí udržívat. Při provozu jednoho bloku na 100 % se v šesti parogenerátorech předává tepelný výkon 1444 MW. Parametry vyrobené páry jsou přibližně 260 °C a 4,75 MPa. V hlavním parním kolektoru je tlak páry cca 4,57 MPa. Z hlavního parního kolektoru se vede 1432 t/hod páry dvojicí parovodů ke každému turbosoustrojí. Na vstupu do vysokotlakého (VT) dílu turbíny má pára tlak cca 4,32 MPa [5].

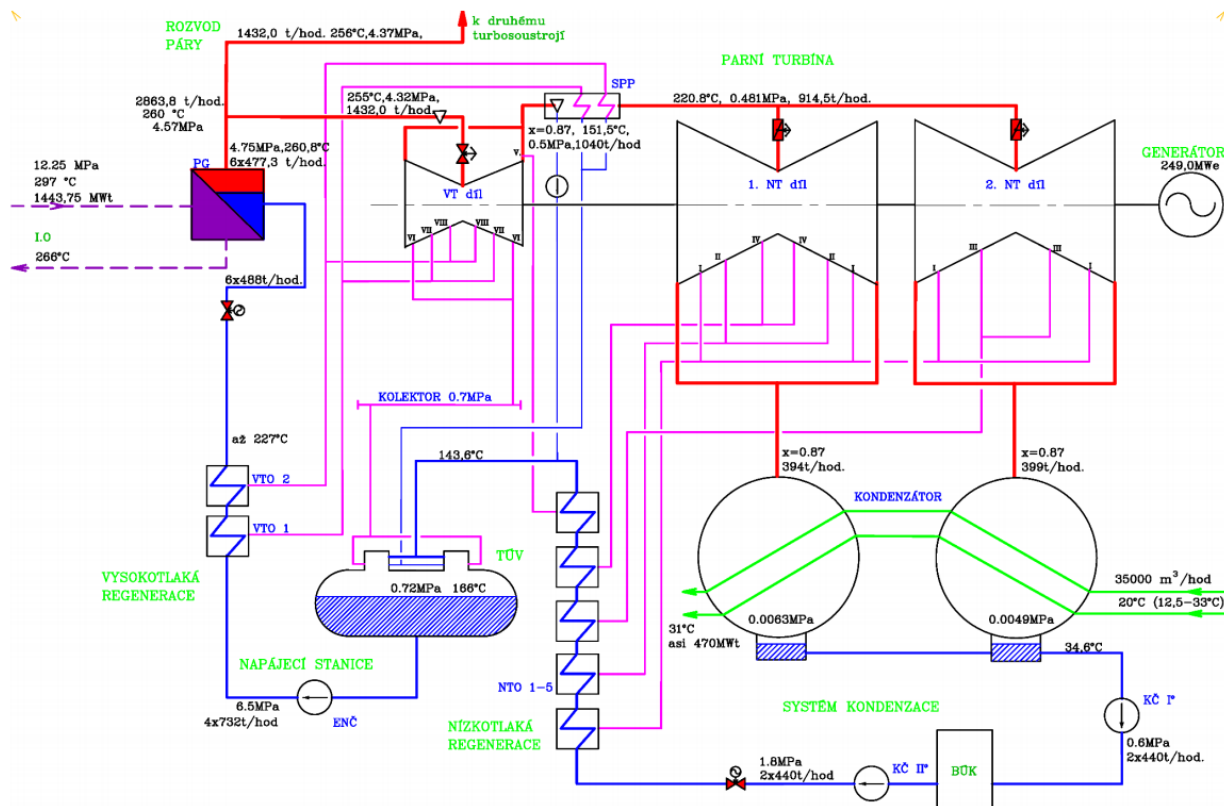
Pára procházející VT dílem parní turbíny předává tepelnou energii rotující turbíně a cca 12 % páry ve VT dílu kondenzuje. K odstranění této vlhkosti slouží dvojice separátorů-přihříváčů. Z VT dílu vystupuje pára o tlaku 0,5 MPa, teplotě 151,5 °C a po výstupu ze separátorů-přihříváčů dosahuje teploty cca 220 °C. Pro přihřátí páry slouží odběrová pára ze VII. a VIII. odběru na VT dílu. Odtud je pára vedena ke dvěma nízkotlakým (NT) dílům parní turbíny. Do NT dílu vstupuje pára o tlaku 0,467 MPa [5].

Kondenzátory jsou umístěny pod NT dílem parní turbíny. Vlhkost páry na výstupu z NT dílu je cca 13,3 %. K odvodu zbytkového tepla z oběhu se využívá cirkulační chladicí voda. Průtok této chladicí vody je 35 000 m³ při nominálním výkonu. Její teplota je v závislosti na

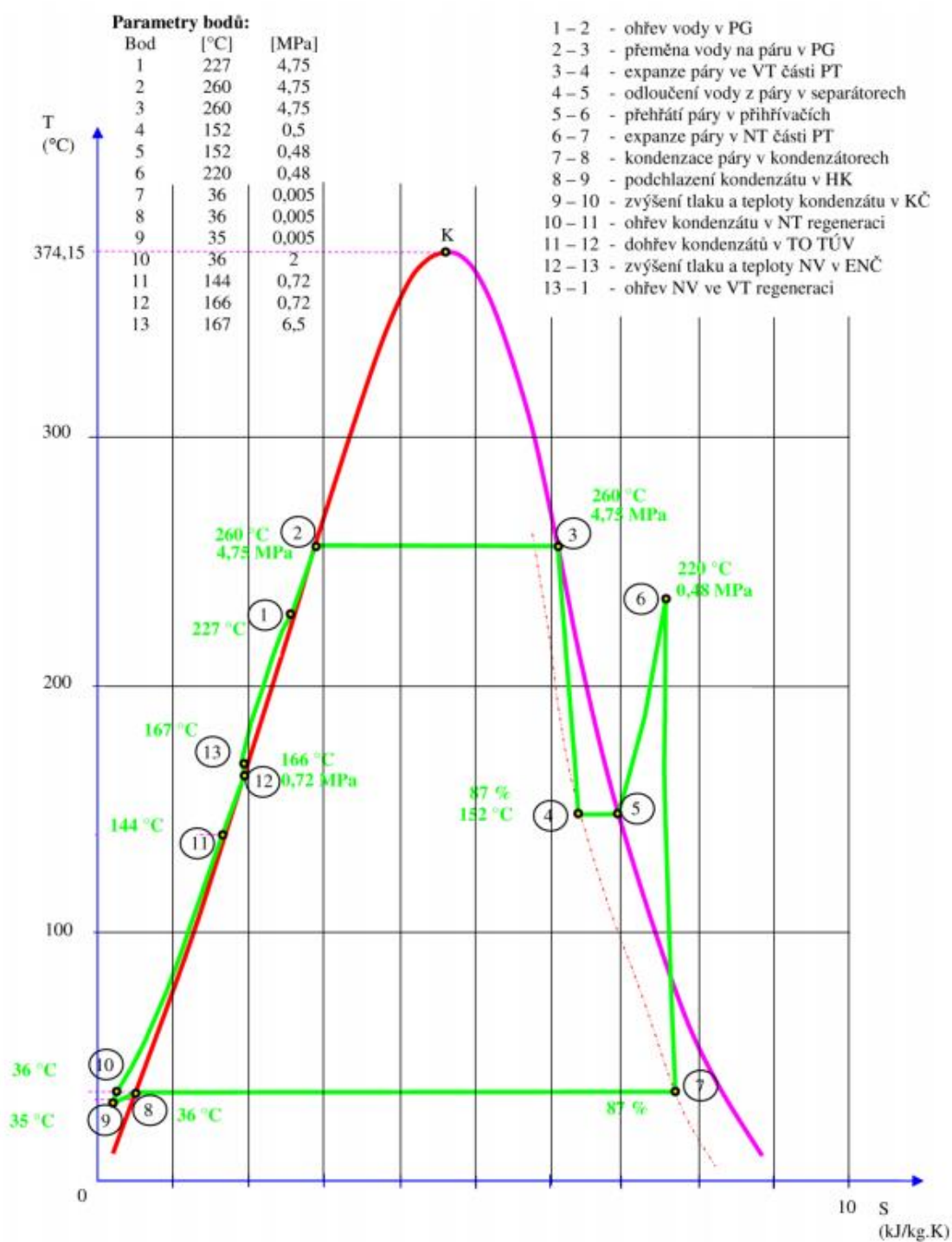
okolí elektrárny v rozsahu přibližně 12 - 33 °C. Pára v kondenzátoru zkondenzuje a stéká do sběračů kondenzátu. Průtok kondenzátu je 880 t/hod při nominálním výkonu. Kondenzát je následně přečerpáván přes první stupeň kondenzátních čerpadel. Jedná se o tři čerpadla, která pracují v režimu 2+1 (tj. dvě pracují, jedno je v rezervě). Následně kondenzát prochází přes ionexové filtry blokové úpravy kondenzátu (BÚK). Následuje druhý stupeň kondenzátních čerpadel, opět pracujících v režimu 2+1. Tlak na výtlaku čerpadel je cca 1,8 MPa. Kondenzát poté prochází přes nízkotlakou regeneraci, jedná se o pět sériově zapojených ohříváků. Na výstupu má teplotu 143,6 °C. Do každého ohříváku je přivedena pára z příslušného odběru (odběr I. - V.). Následně je kondenzát zaveden do tepelné úpravy vody, kde je dohříván parou z kolektoru 0,7 MPa a stéká do napájecí nádrže. Parametry vody v napájecí nádrži jsou 165 °C a 0,72 MPa. Objem napájecí nádrže je dimenzován pro 5 minut provozu bloku při jmenovitém výkonu [5].

Z napájecí nádrže je voda čerpána pěti napájecími čerpadly pracujícími v režimu 4+1. Tlak vody na výtlaku je 6,5 MPa. Napájecí čerpadla jsou umístěna v tzv. napájecí stanici, odkud je voda čerpána přes vysokotlakou (VT) regeneraci do hlavního napájecího kolektoru, napájecích hlav a následně do parogenerátorů. Ve VT regeneraci je napájecí voda ohřáta na teplotu 226,8 °C pomocí páry ze VII. a VIII. odběru parní turbíny. Napájecí hlavy slouží k regulování průtoku dle aktuální potřeby. Průtok napájecí vody v nominálním režimu je cca 488 t/hod pro každý parogenerátor [5].

Schéma tepelného oběhu s vyznačenými parametry oběhového média a T-s diagram oběhu Jaderné elektrárny Dukovany jsou na následujících obrázcích:



Obr. 1.1 Schéma tepelného oběhu JE Dukovany [5]



Obr. 1.2 T-s diagram oběhu JE Dukovany [5]

PG – parogenerátor

PT – parní turbína

HK – hlavní kondenzátor

KČ – kondenzátní čerpadlo

TO TÚV – termický odplyňovač v tepelné úpravě vody

NV – napájecí voda

ENČ – hlavní napájecí čerpadlo

Rozdělení sekundární části

1) Technologické systémy sekundárního okruhu

Jedná se o zařízení, které se přímo podílí na výrobě energie převzaté v parogenerátorech. Do této skupiny patří [5]:

a) Rozvod páry

Soustava parovodů a parních kolektorů, které zabezpečují dopravu páry z parogenerátorů k parním turbínám a rozvod páry pro vlastní spotřebu.

b) Parní turbína

Tepelný stroj sloužící k přeměně tepelné energie média - páry na mechanickou energii rotujícího turbosoustroje. V JE Dukovany jsou použity třítělesové kondenzační parní turbíny složené z jednoho vysokotlakého (VT) dílu a dvou nízkotlakých (NT) dílů.

c) Pomocné systémy parní turbíny

Jedná se o soubor zařízení, které zabezpečují parní turbíně její provoz. Jedná se především o mazání a odvod tepla z třecích ploch, utěsnění pracovního prostoru, regulaci výkonu, odvodnění a úpravu páry mezi jednotlivými díly parní turbíny.

d) Systém kondenzace

Zajištění odvodu pracovní látky z prostoru parní turbíny, její kondenzaci a dopravu zpět do pracovního okruhu.

e) Nízkotlaká regenerace

Slouží k ohřevu kondenzátu pro zvýšení účinnosti tepelného oběhu.

f) Tepelná úprava vody

Slouží k dohřátí kondenzátu na požadovanou úroveň, pro vytvoření dostatečné zásoby vody pro napájení parogenerátoru a pro zajištění dostatečného tlaku na sání napájecích čerpadel.

g) Systém pomocných nádrží

Zajišťuje návrat kondenzátu z vybraných zařízení jaderné elektrárny zpět do hlavního pracovního okruhu.

h) Napájení parogenerátorů

Jedná se o soubor zařízení, která mají za úkol dopravit napájecí vodu do parogenerátorů.

i) Vysokotlaká regenerace

Slouží k ohřevu napájecí vody před vstupem do parogenerátorů a zvyšuje tím účinnost oběhu. Slouží také ke snižování teplotního namáhání stěn parogenerátorů a zvyšuje jejich životnost.

j) Ventilační systémy

Soubor zařízení, které mají za úkol zajistit vhodné pracovní prostředí ve vnitřních objektech jaderné elektrárny pro technologická zařízení a obslužný personál.

2) Vnější objekty

Jedná se o technologická zařízení, která jsou umístěna ve vnějších objektech a mají za úkol zabezpečit chod primární, sekundární technologické a elektrické části jaderné elektrárny. Jedná se především o následující [5]:

a) Systém zásobování teplem

Jedná se především o výměníkové stanice, ve kterých je teplo z odběrové páry předáváno do horkovodních rozvodů, zásobujících teplem objekty výrobních bloků a ostatní objekty jaderné elektrárny.

b) Centrální olejové hospodářství

Soubor čerpadel, nádrží a potrubí sloužících ke skladování, dopravě a čištění oleje pro hlavní strojní komponenty jaderné elektrárny – turbíny, napájecí čerpadla, hlavní cirkulační čerpadla a čerpadla bórové regulace.

c) Zásobování vodou a vnější chladicí okruhy

Slouží k dopravě, úpravě a skladování vody pro potřeby výrobního bloku. Dále slouží k chlazení vody ve chladicích okruzích.

d) Kanalizace a vypouštění odpadních vod

Sběr odpadních vod a jejich následná úprava na požadovanou úroveň, aby nebylo při jejich vypuštění do okolního prostředí poškozeno životní prostředí.

e) Dieselgenerátorové stanice

Záložní zdroje elektrické energie, důležité zejména pro zabezpečení provozu zařízení nutných k odstavení a dochlazování bloků.

f) Hospodářství technických plynů

Skupina kompresorů, nádrží a dopravních potrubí sloužících ke skladování, úpravu parametrů a dopravě médií ke spotřebičům a zpět. Jedná se zejména o rozvody dusíku, vodíku a kyslíku.

g) Vysokotlaká a nízkotlaká kompresorová stanice

Zajišťují výrobu vysokotlakého a nízkotlakého vzduchu sloužícího k ovládání rychločinných armatur, pro chemické provozy, laboratoře a údržbu.

h) Stanice zdroje chladu a systém chlazené vody

Systém zařízení, sloužících k odvodu tepla z klimatizačních a ventilačních systémů elektrárny a předání tohoto tepla do atmosféry.

1.1 Parní turbína K 220-44

Parní turbína K 220-44 slouží k přeměně tepelné energie v energii mechanickou. V turbíně dochází k expanzi páry vzniklé v parogenerátoru teplem přivedeným z primárního okruhu. Soustrojí turbíny se skládá z [5]:

- **Vysokotlakého dílu**
- **Dvou nízkotlakých dílů**
- **Ložisek**
- **Čtyř ložiskových stojanů**
- **Otáčecího zařízení**
- **Armatur parní turbíny**

Pára je k parní turbíně přiváděna dvojicí potrubí. Nejprve prochází přes vysokotlaké odlučovače, ve kterých se z páry odstraňuje případná vlhkost. Následně proudí do bloku rychlozávěrných ventilů, který se skládá z rychlozávěrného ventilu a dvojice regulačních ventilů. V bloku rychlozávěrných ventilů je umístěn také obtokový ventil. Rychlozávěrné a regulační ventily slouží k regulaci výkonu a otáček soustrojí pomocí škrcení páry na vstupu do turbíny [5].

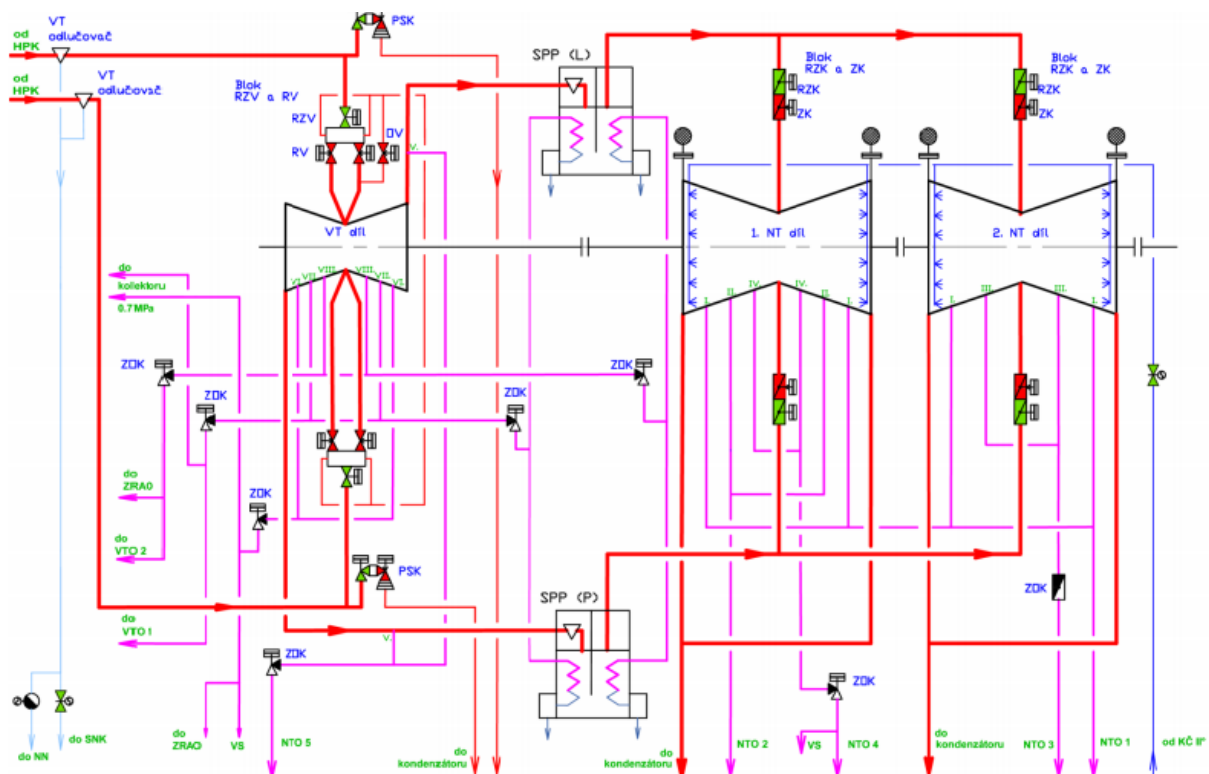
Od bloku rychlozávěrných ventilů následně pára vstupuje do VT dílu parní turbíny. Při průchodu pára odevzdá cca 45 % energie, která je v oběhu využita. VT díl je dvouproudý, pára vstupuje čtyřmi přívody do střední části, odsud expanduje na obě strany axiální osy přes šest pracovních stupňů a je odvedena dvěma výstupními hrdly. VT díl obsahuje odběry č. V., VI., VII. a VIII. Odběry VI., VII. a VIII. jsou vyvedeny přímo z tělesa VT dílu, V. odběr je odbočka pro vyvedení páry z výstupního hrdla. Následně pára proudí do separátoru-přihříváče [5].

Dalšími částmi parní turbíny K 220-44 jsou dva nízkotlaké (NT) díly. Od separátoru-přihříváče pára proudí nejprve do bloku rychlozávěrných klapek a regulačních klapek. Rychlozávěrné klapky slouží k okamžitému uzavření průtoku páry při nebezpečných stavech. Regulační klapky regulují tlak páry na vstupu do NT dílů při provozování na nízkém výkonu a zabraňují tím přílišnému namáhání rotoru. V každém NT díle se předá cca 28 % energie z celkového množství, které se z oběhu získá. NT díl je dvouproudý, pára vstupuje dvěma přívody do jeho střední části. Na výstupní hrdlo navazuje kondenzátor. NT díl má pět pracovních stupňů a jsou z něj vyvedeny neregulované odběry, v prvním VT díle se nachází odběry I., II. a IV., v druhém VT díle se nachází odběry I. a III. [5].

Při vyšším výkonu parogenerátoru, kdy vzniká více páry, než je turbína schopna zpracovávat v nominálním provozu, dochází ke zvýšení tlaku před blokem rychlozávěrných ventilů. Při dosažení tlaku 4,9 MPa dochází k otevření přepouštěcí stanice do kondenzátoru, nejprve u jedné parní turbíny, při dalším zvýšení i u druhé parní turbíny příslušného bloku [5].

Odběry parní turbíny jsou opatřeny zpětnými odběrovými klapkami, které zabraňují zpětnému proudění páry od spotřebičů přes NT díly do kondenzátoru při odstavování.

Schéma zapojení parní turbíny K 220-44 je na následujícím obrázku:



Obr. 1.3 Schéma parní turbíny K 220-44 [5]

- HPK – hlavní parní kolektor
 PSK – přepouštěcí stanice do kondenzátoru
 RZV – rychlozávěrný ventil
 RV – regulační ventil
 OV – obtokový ventil
 SPP – separátor-přehříváč
 RZK – rychlozávěrná klapka
 ZK – záchytná (regulační) klapka
 ZOK – zpětná odběrová klapka
 SNK – sběrná nádrž kondenzátu
 ZRAO – zpracování radioaktivních odpadů
 NN – napájecí nádrž
 VS – vlastní spotřeba

Na parní turbínu přímo navazují další technologické systémy, které zabezpečují podmínky pro její spolehlivý a bezpečný provoz. Do skupiny tzv. pomocných systémů parní turbíny patří následující [5]:

a) Olejový systém parní turbíny

Účelem olejového systému parní turbíny je zabezpečit dodávku oleje pro mazání a chlazení ložisek turbosoustrojí. Dále zajišťuje hydraulický olej pro regulační a zabezpečovací systém parní turbíny, zvedací olej pro ložiska parní turbíny a turboalternátoru při najíždění a odstavování. Funkcí tohoto systému je také zajištění mazání otáčecího zařízení, chlazení oleje, regulaci teploty oleje, zbavování oleje nečistot a dodávka těsnícího oleje pro generátor. Olejový systém se skládá z několika olejových čerpadel, ventilátoru olejových par, hlavní olejové nádrže, pomocné olejové nádrže, chladičů oleje, injektorů a olejových filtrů.

b) Elektrohydraulický regulační a zabezpečovací systém

Slouží k řízení soustrojí turbína - generátor. Skládá se z elektronické a elektrohydraulické části. Jeho funkce jsou následující:

- regulace otáček soustrojí při nepřifázovaném generátoru a při najíždění a odstavování
- regulace výkonu od minimálního zatížení až po nominální provoz
- bezpečné odstavení soustrojí ve všech režimech provozu

Systém se skládá z elektrohydraulických převodníků, olejových čerpadel, rychlozávěrných ventilů, snímačů otáček, servopohonů, elektromagnetických ventilů, elektrických urychlovačů, systému el. ochrany atd. Funkce tohoto systému je podmíněna signálem z řídicího systému bloku turbíny, popř. ze systému ochrany.

c) Systém ucpávkové páry

Jedná se o skupinu zařízení, která slouží k oddělení a utěsnění pracovního prostoru parní turbíny od vnějšího prostředí. Jedná se zejména o labyrintové ucpávky, do kterých je přiváděna zahlcovací pára. Vnější ucpávky jsou složeny ze statorové části, na které se nacházejí bříty, a rotorové části, na které je vysoustružen labyrint. Labyrint a bříty jsou rozděleny po úsecích, mezi nimi se nacházejí komory, které slouží k zahlcování nebo odsávání páry. Při najíždění jsou všechny vnější komory zahlcovány redukovanou parou z kolektoru $0,7 \text{ MPa}$, ve vnitřních komorách ucpávek je udržován tlak 105 kPa . Aby nedocházelo k unikání páry do prostoru strojovny, je ve vnějších komorách udržován tlak 99 kPa . Tím vzniká lehký podtlak a do vnější komory je přísáván vzduch ze strojovny a ucpávková pára z vnitřních komor. Vzniklá parovzdušná směs (komínková pára) je odsávána přes kondenzátor komínkové páry (KKP) do atmosféry.

Systém ucpávkové páry také zajišťuje utěsnění armatur parní turbíny a skládá se z následujících částí:

- Vysokotlakého ucpávkového systému
- Nízkotlakého ucpávkového systému

d) Systém neregulovaných odběrů parní turbíny

Neregulované odběry parní turbíny slouží k odvodu části pracovní páry z pracovního prostoru do zařízení nezbytně nutných pro provoz soustrojí. Dále snižují průtok páry koncovou částí parní turbíny a tím snižují potřebný chladicí výkon v kondenzátoru. Zároveň je s pracovní parou odváděn vzniklý kondenzát a odběry tak zajišťují vnitřní odvodnění parní turbíny a omezují tak erozi lopatkování. Parametry páry v neregulovaném odběru jsou dány aktuálním výkonem parní turbíny. Potrubí odběrů, které pracují při nominálním režimu v oblasti vyššího tlaku, než je tlak atmosférický, je vybaveno pneumaticky ovládanou zpětnou klapkou. Třetí odběr je osazen mechanickou zpětnou klapkou, právě zde je tlak páry podobný atmosférickému tlaku. Všechny odběry jsou napojeny na systém odvodnění.

Parametry páry v jednotlivých větvích odvodnění jsou uvedeny v následující tabulce:

Místo odběru	Číslo odběru	Teplota [°C]	Tlak [MPa]
z VT dílu	VIII.	232	2,9
	VII.	196	1,42
	VI.	181	1,02
z propojovacího potrubí VT dílu a separátoru-přihříváče	V.	151	0,5
z 1. NT dílu	IV.	152	0,23
z 2. NT dílu	III.	103	0,116
z 1. NT dílu	II.	81	0,0505
z 1. a 2. NT dílu	I.	58	0,018

Tab. č. 1 Parametry odběrů [5]

e) Systém separace a přihřívání

Systém separace a přihřívání se skládá ze dvou separátorů-přihříváčů (SPP), pojistných ventilů, sběrače separátu, podávacích čerpadel, dvou sběračů kondenzátu a expandéru. Slouží k odstranění kapalně fáze vody z částečně vyexpandované pracovní páry za VT dílem a k jejímu přihřátí nad mez sytosti před vstupem do NT dílů. Přihřátí je dvoustupňové. Dva separátory-přihříváče pracují paralelně každý na jedné trase potrubí odvádějící páru z VT dílu. Pára po expanzi ve VT dílu obsahuje 12-13 % vlhkosti. Separátor je tlaková nádoba, ve které se nachází žaluziové kazety a kapičky vody v páře jsou díky působení odstředivých sil při průchodu zakřiveným kanálem zachytávány a odváděny mimo hlavní proud. Žaluziový separátor nemá 100% účinnost, část vlhkosti v páře zůstává. Odstraní se až v následném dvoustupňovém přihříváči.

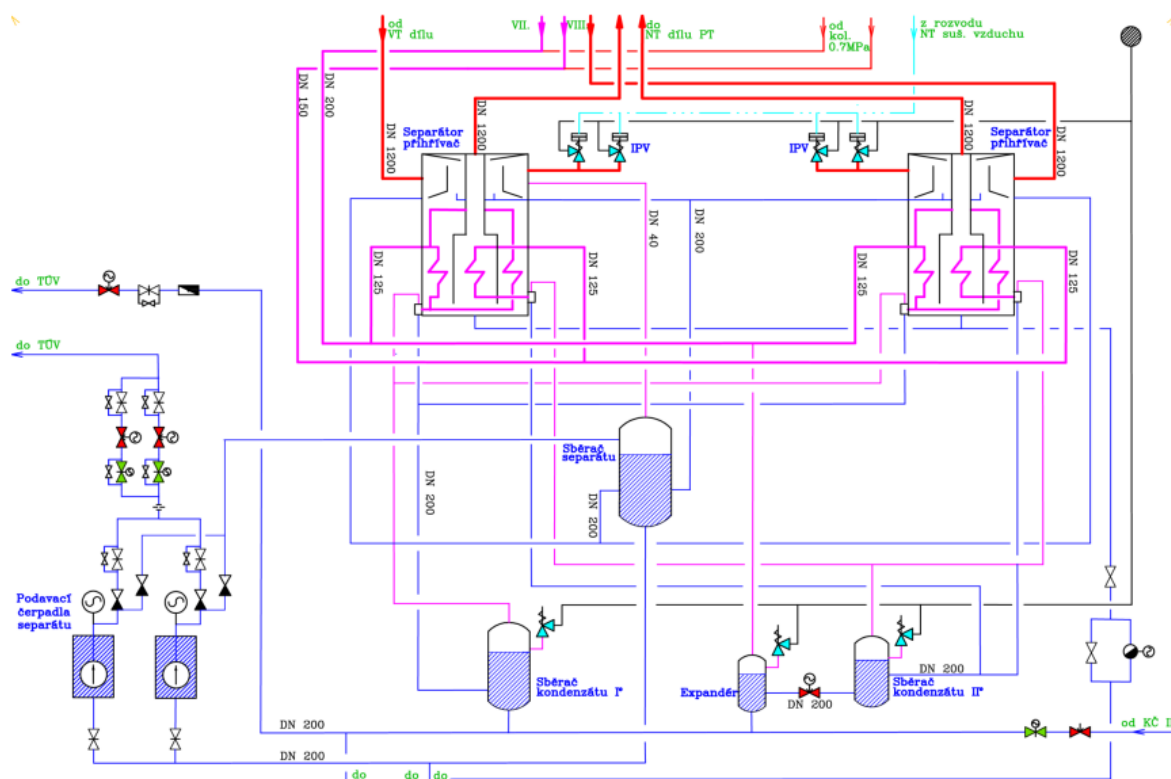
Odloučený separát stéká z žaluziových kazet do spodní části separátoru a odchází do tzv. sběrače separátu. Odsud je čerpán dvěma podávacími čerpadly separátu zpět do pracovního okruhu v místě před TÚV. V případě potřeby lze ze sběrače odpustit část separátu do tzv. expandéru provozních kondenzátů (EPK), viz. dále.

Pro přihřívání se používají odběry VII. a VIII., protože mají nejvyšší parametry páry. Zvyšuje se tím účinnost parního oběhu. Nejprve je pára přihřívána VII. odběrem, v druhém stupni přihřívání VIII. odběrem a následně proudí do RZK před NT díly parní turbíny.

V přihříváči dochází ke kondenzaci odběrové páry, kondenzát stéká do spodní části přihříváče a vytéká výstupními kolektory. Následně je kondenzát odváděn do sběračů kondenzátu. Sběrače kondenzátu jsou dva, sběrač kondenzátu I° odvádí kondenzát ze VII. odběru, sběrač kondenzátu II° odvádí kondenzát z VIII. odběru. Ve sběračích kondenzátu je rozdílný tlak, který odpovídá tlakům příslušných odběrů. Odváděný kondenzát z obou sběračů nelze přímo smíchat, tlak musí být vyrovnán v tzv. expandéru. Jedná se o tlakovou nádobu, v jejíž horní části je připojené potrubí k VII. odběru. Kondenzát ze sběrače II° je zaveden přes regulační ventil do expandéru, kondenzát vyexpanduje na tlak lehce vyšší, než je tlak v VII. odběru, tj.

1,42 MPa. Pára uvolněná z kondenzátu je odváděna propojovacím potrubím k VII. odběru a je použita k ohřevu v prvním stupni přehříváče. Vyexpandovaný kondenzát je odváděn ze spodní části expandéru a je již přímo připojen k potrubí odvádějící kondenzát ze sběrače I°. Do potrubí je také zaveden kondenzát z hlavního oběhu z prostoru za kondenzátním čerpadlem II°, tím dochází k dochlazení. Dochlazený kondenzát je přes regulační armaturu přepouštěn do termických odplyňovačů. V případě potřeby lze kondenzát stejně jako separát přepustit do expandéru provozních kondenzátů.

Schéma systému separace-přehřívání je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 1.4 Schéma systému separace – přehřívání [5]
 IPV – impulsní pojistný ventil

f) Systém odvodnění parní turbíny

Účelem odvodnění parní turbíny je odvod kondenzátu z pracovního prostoru turbíny a ochrana lopatkového systému parní turbíny proti erozivnímu působení kapalně fáze vody. Více v následující kapitole.

1.1.1 Odvodnění parní turbíny

Odvodnění parní turbíny lze rozdělit na tři části, a to na [5]:

- **Systém VT odvodnění před parní turbínou**
- **VT odvodňovací systém**
- **NT odvodňovací systém**

Úkolem tohoto systému je neustálé odvádění vzniklého kondenzátu z turbíny a armatur, a to při najíždění i nominálním provozu. Vznik kondenzátu je nejvyšší při najíždění parní turbíny, protože kondenzační teplo páry se předává k ohřevu těles a rotorů na provozní teplotu. Část páry kondenzuje i za nominálního provozu, kdy v důsledku expanze je pracovní médium ve stavu mokré páry, tj. směsi páry a vodních kapiček. Vlhkost obsažená v páře je nežádoucí a před vstupem na další stupně je nutné část vlhkosti odvádět [5].

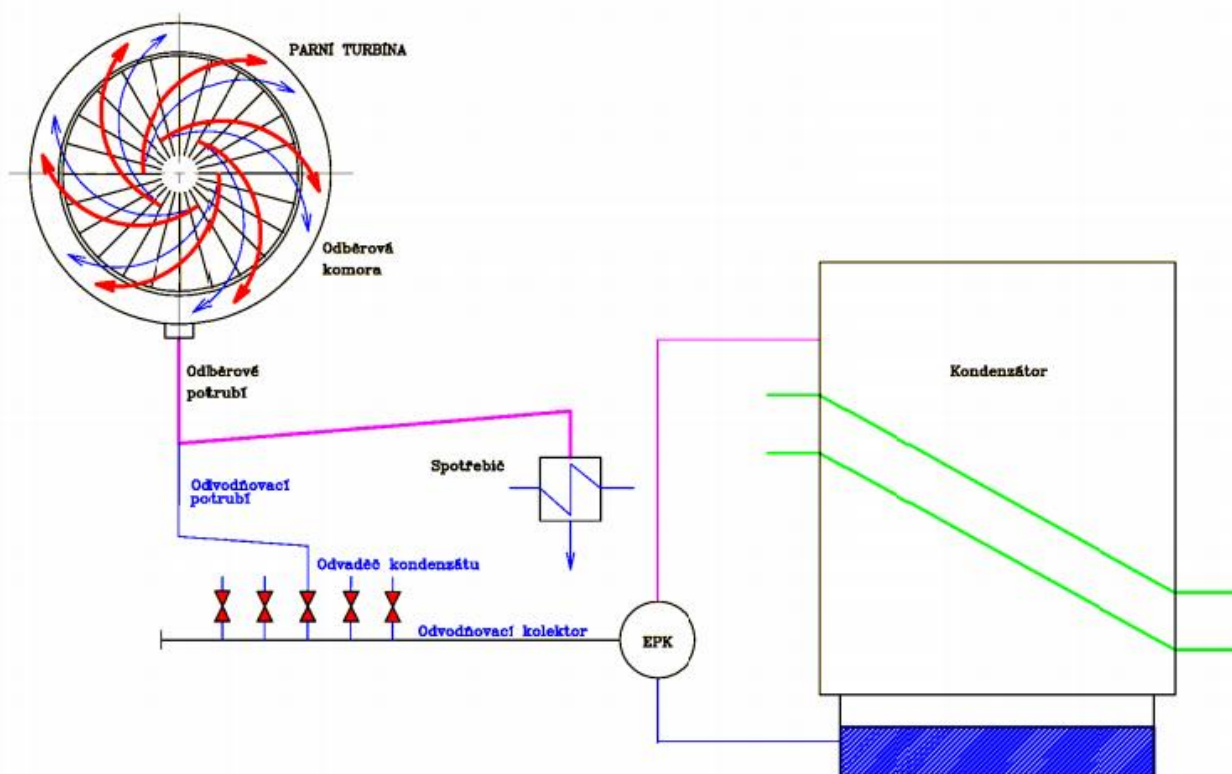
V pracovním prostoru parní turbíny se pára pohybuje v axiálním směru po dráze povrchy kuželové plochy. Jelikož pára prochází dýzovými kanály mezi rozváděcími lopatkami a oběžnými lopatkami, dochází k jejímu tangenciálnímu pohybu (tečný k obvodu). Pára se tedy v prostoru parní turbíny pohybuje po šroubovici s rostoucím průměrem. Vzniklé kapičky vody jsou parou unášeny a pohybují se po podobné trajektorii. Na kapičky působí vyšší odstředivá síla než na molekuly páry a vlhkost je koncentrována v přibližně horní třetině pracovní délky lopatek. Nejvyšší koncentrace vlhkosti je na koncích lopatek. Na vnitřním průměru pláště mezi dvěma stupni, tj. za oběžnými lopatkami předchozího stupně a před rozváděcími lopatkami následujícího stupně je vytvořena šterbina umožňující odvod části pracovní páry do odběrové komory a následně do příslušného odběru. Odváděná pára má tedy vyšší vlhkost než pára vstupující do následujícího stupně a dochází tak k vnitřnímu odvodnění pracovního prostoru parní turbíny [5].

Odběrová pára následně proudí potrubní trasou systému neregulovaných odběrů k příslušným spotřebičům. Spotřebiče jsou většinou tepelné výměníky, ve kterých se předává kondenzační teplo páry přes teplosměnnou plochu do kapalného média. Je výhodné, aby na vstupu do výměníků byla sytá pára zbavena vlhkosti. Vlhká pára na vstupu do výměníku by mohla zhoršovat účinnost výměníku a způsobovat erozi teplosměnných ploch. Proto je nutné vlhkost z odběrové páry odstraňovat [5].

K odstranění dochází tím způsobem, že části odběrových potrubí jsou vyspádovány, a v nejnižších místech je napojeno odvodňovací potrubí. Kapičky unášené odběrovou parou ulpívají na stěnách potrubí a stékají po nich do nejnižšího místa, odkud jsou odváděny odvodňovacím potrubím k odvodňovací baterii. Odvodňovací baterie se skládá z ručně ovládaných armatur a automatického odvaděče kondenzátu. Odvaděč kondenzátu se otevírá a vypouští vzniklý kondenzát periodicky dle nastavených podmínek. Jedná se především o zvýšení hladiny v potrubí před armaturou nebo přímo v armatuře nad určitou mez nebo snížení teploty kondenzátu. Kondenzát je přepouštěn do odvodňovacího kolektoru, do kterého jsou zavedeny ostatní baterie příslušných odběrů. Ke kolektoru je připojený expandér provozních kondenzátů (EPK). Při najíždění parní turbíny dochází k podstatně vyšší tvorbě kondenzátu, proto je každá baterie odvodnění opatřena bypassovým potrubím s armaturou, která se při najíždění otevře a kondenzát se odvádí touto trasou přímo do sběrný. Po najetí turbíny na

nominální výkon se armatura uzavře a odvodnění již funguje periodicky přes odvaděče kondenzátu, jak bylo popsáno výše [5].

Po expanzi kondenzátoru dochází k rozdělení média na kapalnou a plynnou fázi. Plynná fáze je zavedena do horní části kondenzátoru za NT dílem parní turbíny, z dolní části je kapalná fáze odváděna do spodní části kondenzátoru a smíšena s kondenzátem v hlavním oběhu. Jelikož se v kondenzátoru nachází podtlak, je plynná fáze odsávána a kapalná fáze odčerpávána bez nutnosti použití čerpadel nebo ventilátorů. Schéma funkce odvodnění parní turbíny je znázorněno na následujícím obrázku [5]:



Obr. 1.5 Schéma funkce odvodnění parní turbíny [5]

Expandér provozních kondenzátů (EPK)

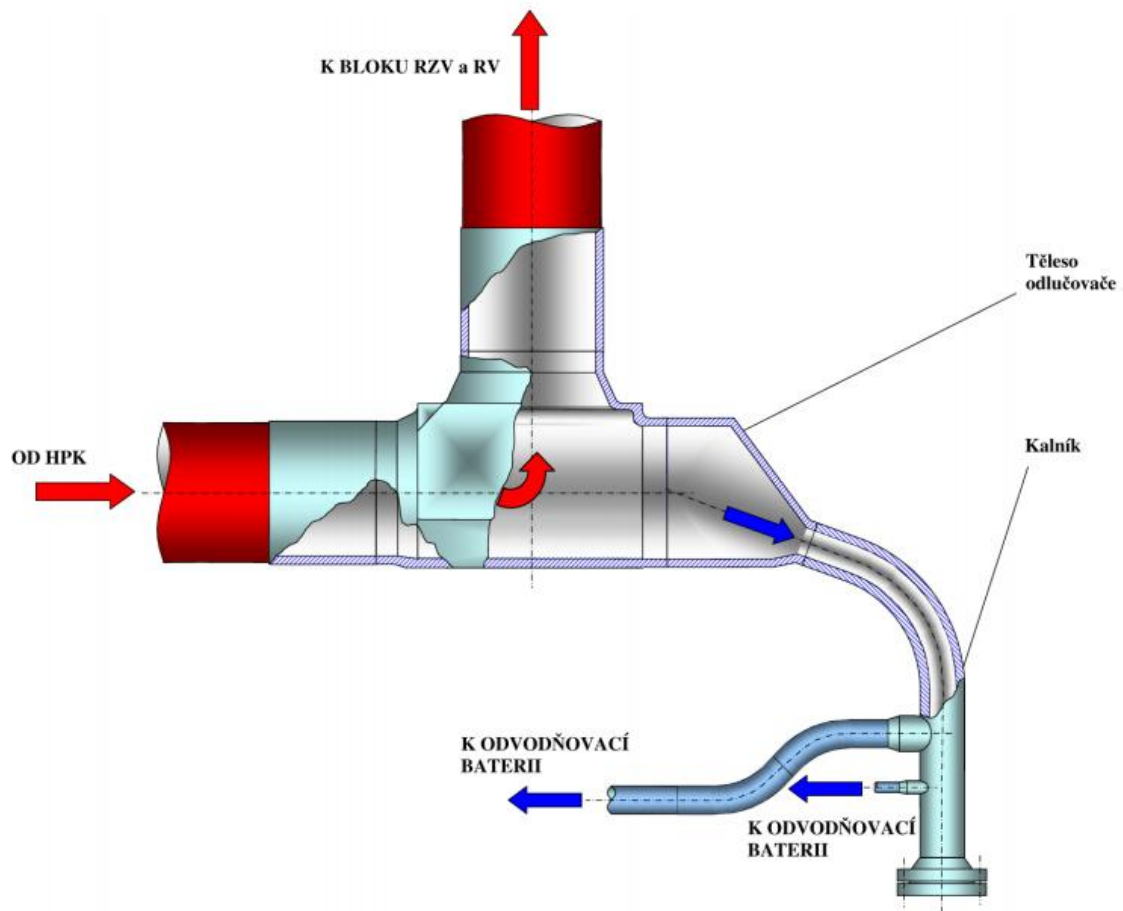
Jedná se o zařízení, ve kterém dochází ke shromažďování kondenzátů ze zařízení sekundárního okruhu. Kondenzát v EPK expanduje, tj. dochází ke snížení tlaku média na úroveň tlaku v kondenzátoru. Z EPK dochází k přepouštění kondenzátu do kondenzátoru a tím návratu chemicky upravené demineralizované vody zpět do oběhu. Přepouštění vody z EPK do kondenzátoru je přes sifon. Expandér je vyroben ze tří zaslepených trubek, jedné horizontální a dvou vertikálních. K expandéru jsou vedena přes pomocné kolektory nebo přímo potrubím následující pracovní média [5]:

- pára z ucpávek VT dílu turbogenerátoru
- odvzdušnění vysokotlakého ohříváče (VTO 1 a VTO 2)
- separát ze sběrače separátu v SPP

- kondenzát z topné páry ze sběrače kondenzátu v SPP
- kondenzát z topné páry nízkotlakých ohříváčů NTO 5 a NTO 3
- kondenzát z topné páry vysokotlakého ohříváče VTO 1
- kondenzát z VT odlučovače
- kondenzát z baterie odvodnění VT části turbogenerátoru
- kondenzát z baterie odvodnění NT části turbogenerátoru
- kondenzát z SNK (sběrná nádrž kondenzátu)

Systém VT odvodnění před parní turbínou

Systém VT odvodnění před parní turbínou se skládá ze dvou potrubí vedoucí kondenzát od VT odlučovačů do čtyř odvodňovacích baterií. Odvodňovací baterie jsou napojené na společný kolektor, ze kterého lze kondenzát odvádět do napájecí nádrže, sběrné nádrže kondenzátu nebo přepouštět do expandéru provozních kondenzátů. Každý výstup je opatřen armaturou. Dvě odvodňovací baterie jsou opatřeny bimetalovým odvaděčem kondenzátu s ručními armaturami před a za odvaděčem. Další dvě mají hladinový odvaděč kondenzátu. Na jednom potrubí je připojena vždy jedna baterie s bimetalovým a druhá baterie s hladinovým odvaděčem paralelně. Ke každé baterii je připojené bypassové obtokové potrubí s ručními armaturami. K separaci vlhkosti z ostré páry VT potrubního systému před parní turbínou slouží vysokotlaký odlučovač kondenzátu. Skládá se z tělesa odlučovače a kalníku. Těleso odlučovače je svařenec sestavený z odlitku centrální části a dvou hrdel. K vodorovnému hrdlu je připojeno (přivařeno) potrubí vedoucí páru z hlavního parního kolektoru (HPK), ke svislému hrdlu je napojené potrubí vedoucí páru k bloku RZV parní turbíny. Na druhé straně centrální části, naproti vodorovnému hrdlu, je připojen kalník s přírubovou záslepkou. Nad záslepkou jsou připojené dvě odbočky, z kterých je potrubím veden odloučený kondenzát do odvodňovacích baterií. Vysokotlaký odlučovač kondenzátu funguje na principu setrvačnosti, kdy pára proudící potrubím je v odlučovači nucena prudce změnit směr rychlosti o 90° . Kapičky vlhkosti unášené parou jsou koncentrovány v místě připojení kalníku a odchází do odvodňovacích baterií [5]. Znázornění funkce VT odlučovače je na následujícím obrázku:



Obr. 1.6 VT odlučovač kondenzátu [5]

VT odvodňovací systém

Vysokotlaký odvodňovací systém parní turbíny je tvořen kolektorem, jedná se o vodorovnou zaslepenou trubku průměru 273 mm a tloušťky stěny 6,3 mm. Kolektor je napojen na expandér provozních kondenzátů. Ke kolektoru jsou připojené odvodňovací baterie a obtoky odvaděčů, ke kterým je potrubím přiváděn příslušný kondenzát. Odvodňovací baterie se skládá z odvaděče kondenzátu a dvou ručních armatur. Při použití hladinového odvaděče kondenzátu se před a za odvaděč armatury neumísťují. Každá baterie má obtokovou větev s ruční armaturou, která je otevírána při najíždění. K VT sběrně odvodnění jsou připojené následující potrubí [5]:

- Odvodnění propoje regulačního ventilu a obtokového ventilu
- Odvodnění potrubní trasy VIII. odběru k separátoru – přehříváči II° za zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění potrubní trasy VII. odběru k SPP I° za zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění potrubní trasy VIII. odběru k VTO 2 za zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění potrubní trasy VII. odběru k VTO 1 za zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění propoje VT dílu a separátoru a potrubí V. odběru před zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění VI. odběru před zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění VIII. odběru před zpětnou odběrovou klapkou
- Odvodnění VII. odběru před zpětnou odběrovou klapkou

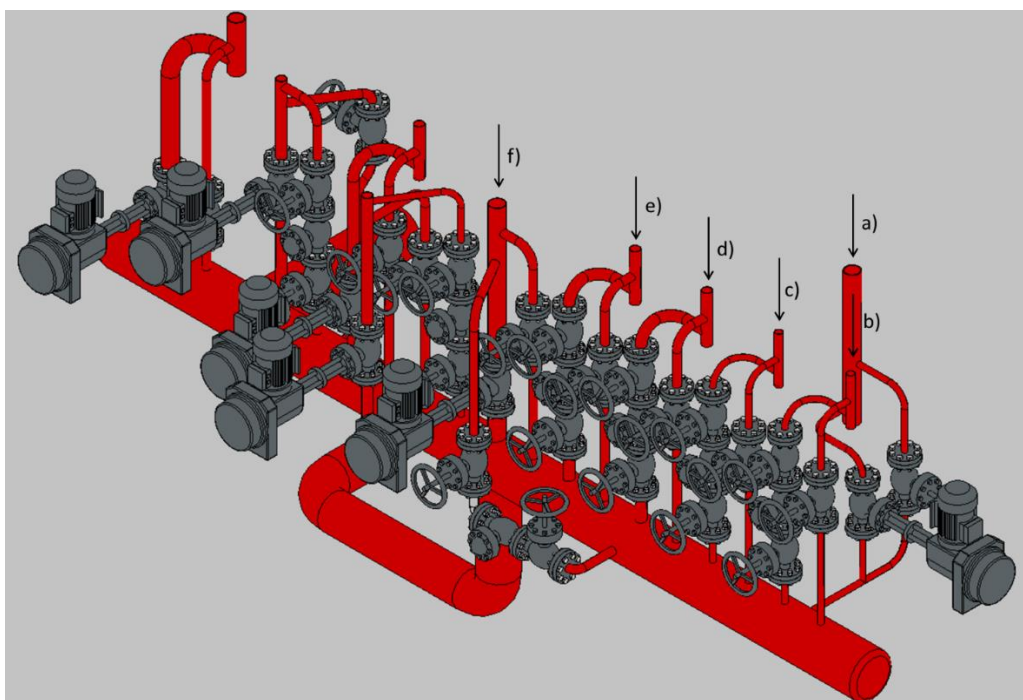
- j) Odvodnění přívodního potrubí mezi bloky rychlozávěrných ventilů a regulačních ventilů a VT dílem parní turbíny

Parametry jednotlivých větví odvodnění jsou v následující tabulce:

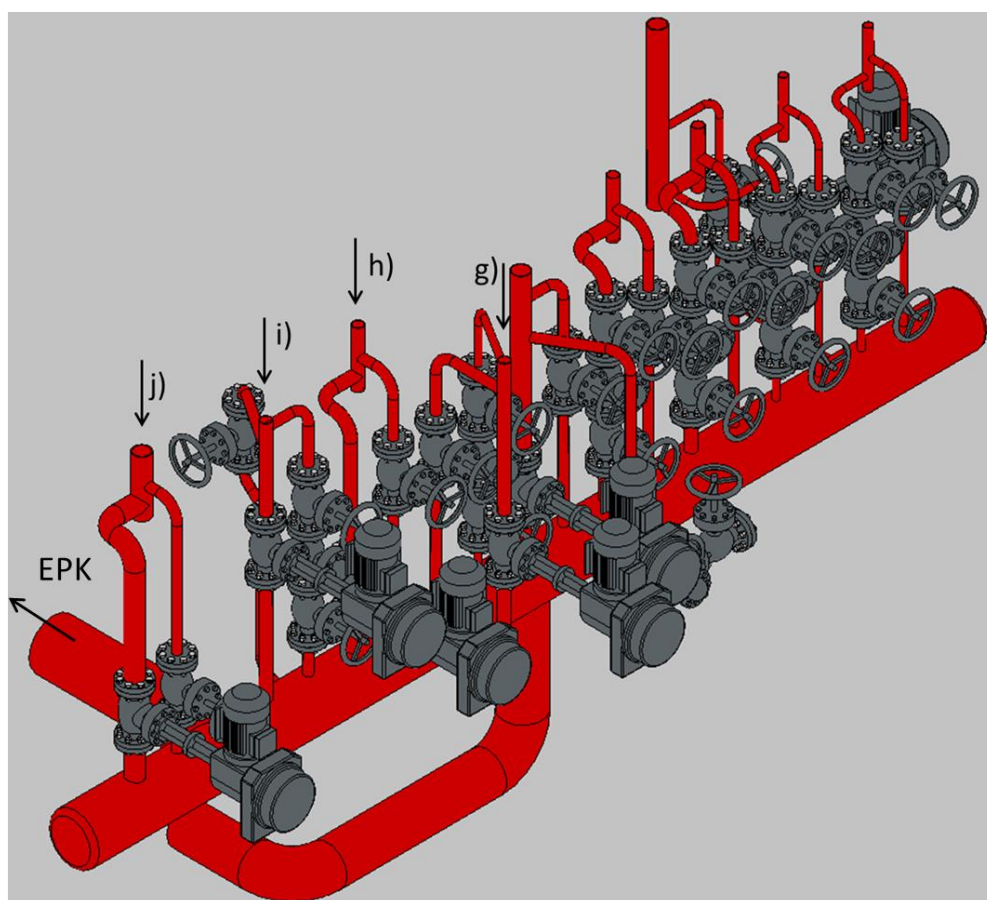
Potrubí odvodnění	Typ odvaděče	Armatury před a za odvaděčem	Jmen. teplota [°C]	Jmen. tlak [MPa]	Průměr potrubí (vnější) [mm]	Tloušťka stěny potrubí [mm]
a)	hladinový	Ne	255	4,32	89	5,5
b)	bimetalový	Ano	232	2,9	44,5	3
c)	bimetalový	Ano	196	1,42	44,5	3
d)	bimetalový	Ano	232	2,9	57	3
e)	bimetalový	Ano	196	1,42	57	3
f)	hladinový	Ne	151	0,5	89	5,5
g)	hladinový a paralelně plovákový	hladinový Ne plovákový Ano	181	1,02	57	3
h)	hladinový	Ne	232	2,9	57	3
i)	hladinový a paralelně plovákový	hladinový Ne plovákový Ano	196	1,42	57	3
j)	hladinový	Ne	255	4,32	89	5,5

Tab. č. 2 Parametry VT odvodnění [5]

Přesné umístění jednotlivých napojení na odvodňovací kolektor je zřejmé z následujících obrázků:



Obr. 1.7 Znáznornění přípojů a baterií VT kolektoru



Obr. 1.8 Znáznornění přípojů a baterií VT odvodnění

NT odvodňovací systém

Nízkotlaký odvodňovací systém je podobné konstrukce jako VT odvodňovací systém. Skládá se opět z vodorovné zaslepené trubky o průměru 273 mm a tloušťce stěny 6,3 mm, která je napojena na EPK. K odvodňovacímu kolektoru jsou připojené odvodňovací baterie, do kterých jsou zavedena následující potrubí [5]:

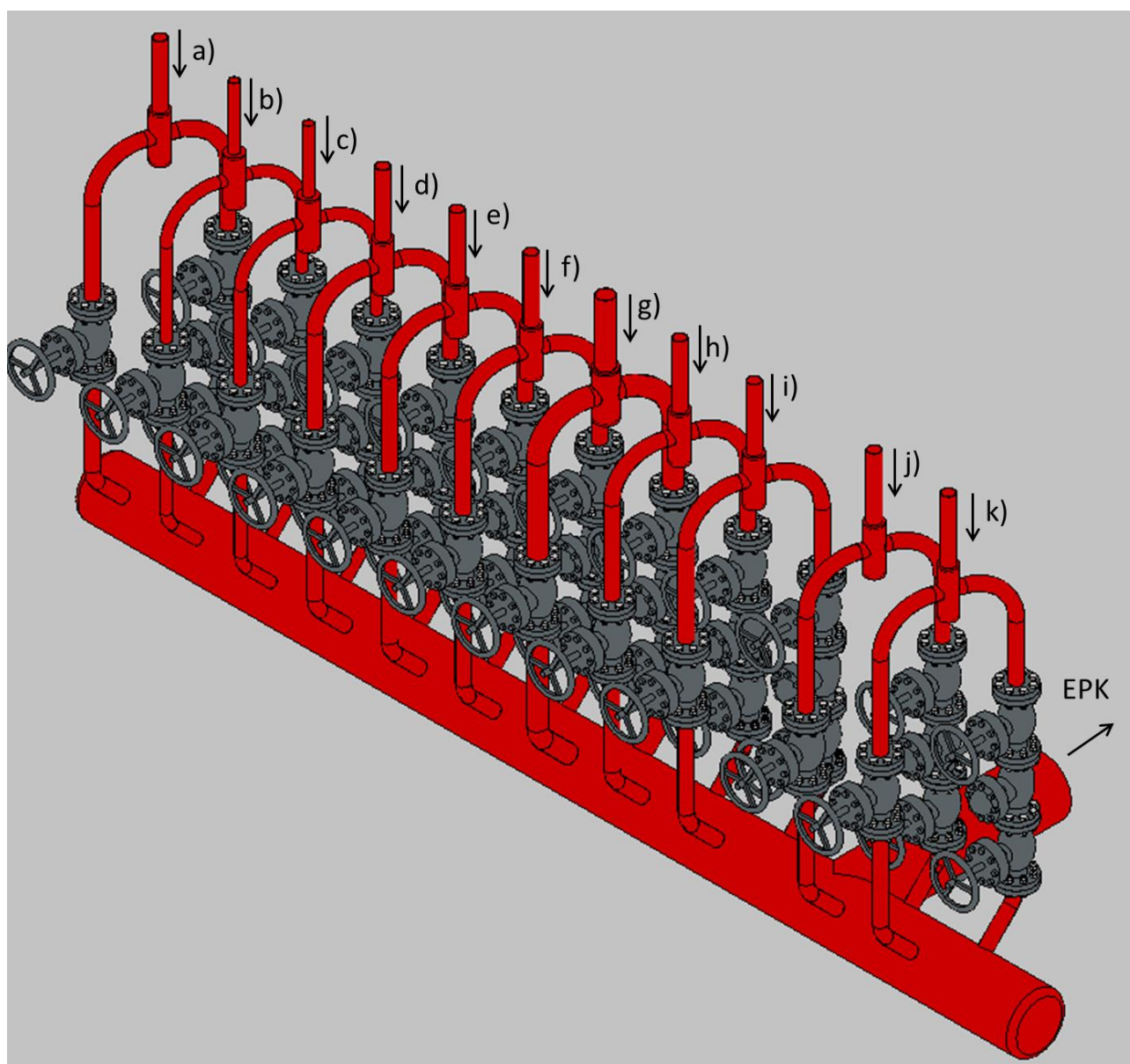
- a) Odvodnění potrubní trasy za uzavírací armaturou III. odběru k NTO 3
- b) Odvodnění potrubní trasy za uzavírací armaturou IV. odběru k NTO 4
- c) Odvodnění potrubní trasy za uzavírací armaturou V. odběru k NTO 5
- d) Odvodnění potrubní trasy před uzavírací armaturou V. odběru k NTO 5
- e) Odvodnění potrubní trasy před uzavírací armaturou IV. odběru k NTO 4
- f) Odvodnění potrubní trasy před uzavírací armaturou III. odběru k NTO 3
- g) Odvodnění potrubní trasy před zpětnou odběrovou klapkou (ZOK) IV. odběru
- h) Odvodnění potrubní trasy před zpětnou odběrovou klapkou (ZOK) III. odběru
- i) Odvodnění NT kolektoru ucpávkové páry
- j) Odvodnění VT kolektoru ucpávkové páry
- k) Odvodnění odbočky z kolektoru 0,7 MPa do NT kolektoru ucpávkové páry

Parametry jednotlivých větví odvodnění jsou v následující tabulce:

Potrubí odvodnění	Typ odvaděče	Armatury před a za odvaděčem	Jmen. teplota [°C]	Jmen. tlak [MPa]	Průměr potrubí (vnější) [mm]	Tloušťka stěny potrubí [mm]
a)	bimetalový	Ano	103	0,116	57	3
b)	bimetalový	Ano	152	0,23	44,5	3
c)	bimetalový	Ano	151	0,5	44,5	3
d)	bimetalový	Ano	151	0,5	57	3
e)	bimetalový	Ano	152	0,23	57	3
f)	bimetalový	Ano	103	0,116	57	3
g)	plovákový	Ano	152	0,23	77,5	2,5
h)	bimetalový	Ano	103	0,116	57	3
i)	bimetalový	Ano	166	0,7	57	3
j)	bimetalový	Ano	166	0,7	57	3
k)	plovákový	Ano	166	0,7	57	3

Tab. č. 3 Parametry NT odvodnění [5]

Přesné umístění jednotlivých napojení na odvodňovací kolektor je zřejmé z následujícího obrázku:



Obr. 1.9 Znáznornění přípojů a baterií NT odvodnění

1.2 Rozvod páry

Jedná se o soustavu parovodů, ventilů, armatur a přepouštěcích stanic sloužících k rozvodu technologické páry především od parogenerátorů k turbínám a pro rozvod páry pro vlastní spotřebu ke spotřebičům. Rozvod páry lze rozdělit na [5]:

a) Rozvod ostré páry

Primární účel systému rozvodu ostré (syté) páry je její odvod od parogenerátorů. Dále slouží k přerozdělení množství páry mezi HPK (hlavní parní kolektory) při rozdílných výkonech turbosoustrojí. Pára je rozvodem ostré páry vedena do parních turbín, při provozu na nízkém výkonu nebo při odstavení turbíny je pára vedena do kolektoru $0,7 \text{ MPa}$. Další funkcí je dochlazování primárního okruhu tím, že odvádí teplo z parogenerátorů do dochlazovacích stanic při najíždění bloku nebo při havarijních režimech. Při nominálním provozu je ostrá pára vedena od parogenerátorů pomocí parovodů PG napojených na hlavní parní kolektor do turbín. Pokud pracuje všech šest parogenerátorů, je pára vedena dvojicemi parovodů přímo k turbínám. Díky HPK je možné krátkodobě vyrovnávat rozdíly výkonů jednotlivých parogenerátorů. Pokud je výkon parogenerátorů vyšší, než jsou turbíny schopné zpracovat, lze ji přepustit do kondenzátoru pomocí přepouštěcích stanic. V případě potřeby je možné páru vypustit přímo do atmosféry. K tomu jsou na potrubí připojené impulsní pojistné ventily, jejichž účel je především ochrana důležitých parovodů před vysokým tlakem. Pokud dojde k výraznému poklesu tlaku (např. únikem, prasknutí potrubí apod.), je nutné oddělit parovod od parogenerátoru pomocí rychločinných armatur ovládaných vysokotlakým vzduchem. Jsou nainstalované na HPK i na jednotlivých parovodech. Při dochlazování bloku slouží parovody a HPK k odvádění tepla z primárního okruhu a jeho předávání do vnějšího chladicího okruhu a do atmosféry.

b) Rozvod páry vlastní spotřeby

Systém rozvodů páry pro vlastní spotřebu slouží především k dopravě páry k blokovým a neblokovým spotřebičům primární a sekundární části jaderné elektrárny. Skládá se z kolektoru $0,7 \text{ MPa}$ a z kolektoru $0,5 \text{ MPa}$. Kolektor $0,7 \text{ MPa}$ je při nominálním provozu zásobován parou z VI. odběrů parní turbíny přes redukční stanici. Nejvíce páry je odebíráno do TUV, kde je pára využita k dohřevu a případně k odplynění kondenzátu. Z kolektoru $0,7 \text{ MPa}$ jsou zásobovány ucpávkové systémy parní turbíny. Při najíždění a odstavování bloku lze kolektor $0,7 \text{ MPa}$ napájet z HPK přes redukční stanici. Zásobování kolektoru $0,7 \text{ MPa}$ před najetím bloku je možné z jiného pracovního bloku přes propojovací potrubí. Kolektor $0,5 \text{ MPa}$ slouží především k zásobování technologických zařízení pomocných systémů primárního okruhu parou. Pára do kolektoru $0,5 \text{ MPa}$ je vedena z kolektoru $0,7 \text{ MPa}$ přes redukční stanice. Stanice jsou dvě, pracující vždy jedna a druhá je v rezervě.

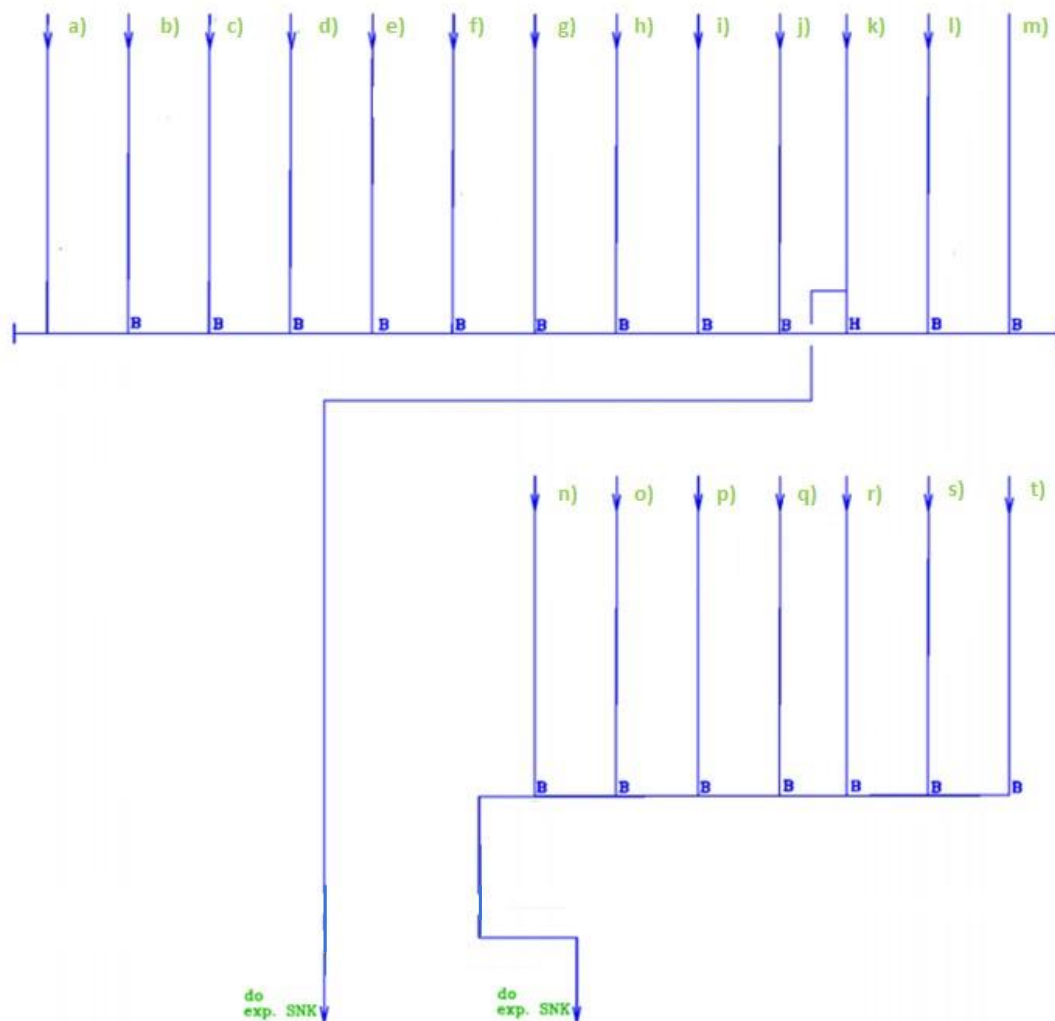
c) Systém odvodnění rozvodů páry

Systém odvodnění rozvodů páry hlavního výrobního bloku slouží k odvádění kondenzátu z potrubních tras parovodů PG, hlavních parních kolektorů, kolektorů 0,7 MPa a 0,5 MPa. Podílí se tím na ochraně potrubních tras proti erozivnímu a korozivnímu působení kapalné fáze vody. Více v následující kapitole.

1.2.1 Odvodnění rozvodů páry

Páru vzniklou v parogenerátorech je nutné dopravit k turbínám. Na vstupu do turbíny by měla být pára ve stavu sytosti, tj. neměla by obsahovat žádnou vlhkost. Vlivem přestupu tepla přes stěny potrubí a přes izolaci dochází k ochlazení syté páry vystupující z parogenerátorů a dochází k částečné kondenzaci páry. Při nominálním provozu vzniká přibližně 0,3 % vlhkosti v páře, nejedná se tedy o příliš vysokou hodnotu. Jiná situace však nastává při najíždění a nahřívání potrubního systému. Zde dochází k řádově vyšší kondenzaci a vlhkost v páře již není zanedbatelná. Je nutné zajistit odvod vzniklého kondenzátu z potrubní trasy a z ekonomických důvodů je výhodné jej vrátit zpátky do oběhu, neboť se jedná o chemicky upravenou demineralizovanou vodu. K tomu slouží tzv. systém odvodnění rozvodu ostré páry. Jednotlivé části potrubního systému jsou vyspádovány, a podobně jako u odvodnění odběrů parních turbín v předchozí kapitole, kondenzát stéká a shromažďuje se v nejnižším místě. Odtud je odváděn připojeným odvodňovacím potrubím k odvodňovací baterii, která je podobná baterii odvodnění parní turbíny. Skládá se tedy z automatického odvaděče kondenzátu, který periodicky vypouští vzniklý kondenzát a popřípadě jsou k němu připojeny i ruční armatury. Kondenzát je vypouštěn do sběrné nádrže kondenzátů, která je součástí systému pomocných nádrží, viz dále. Pokud kondenzát nevyhovuje svými parametry, nemůže být vrácen do sekundárního okruhu a musí být odveden do CHÚV (chemické úpravy vody) [5].

Odvodňovací systém rozvodů páry se skládá ze dvou kolektorů a jejich přípojek. Každá větev se skládá z několika potrubí a je zakončena vlastní baterií s příslušným typem odvaděče kondenzátu. Každé potrubí ústí v příslušném místě na parovodu, který odvodňuje. Jedná se o nejnižší místo daného úseku, který je vymezen armaturou, spotřebičem, odbočkou apod [5]. Zjednodušené schéma jednotlivých větví je zobrazeno na následujícím obrázku:



Obr. 1.10 Schéma odvodnění rozvodů páry [5]

B – bimetalové odvaděče kondenzátu

H – hladinové odvaděče kondenzátu

a) odvodnění propoje mezi reaktorovými bloky

b) odvodnění parovodu mezi hlavním uzavíracím šoupátkem a parní turbínou

c) odvodnění parovodu PG 6

d) odvodnění parovodu PG 4

e) odvodnění parovodu PG 2

f) odvodnění odbočky před redukční stanicí 4,5/0,7 MPa

g) odvodnění hlavního parního kolektoru mezi rychločinnými armaturami

h) odvodnění parovodu PG 5

i) odvodnění parovodů mezi hlavním uzavíracím šoupátkem a parní turbínou

j) odvodnění parovodu PG 3

k) odvodnění redukční stanice dochlazování a přepouštěcích stanic do atmosféry

l) odvodnění odbočky před redukční stanicí 4,5/0,7 MPa

m) odvodnění parovodu PG 1

n) odvodnění redukční stanice dochlazování za regulačním ventilem

o) odvodnění kolektoru 0,5 MPa

p) odvodnění propoje kol. 0,7 MPa a neblokovaných spotřebičů

q) odvodnění parovodu mezi redukční stanicí 4,5/0,7 MPa a kolektoru 0,7 MPa

r) odvodnění parovodu do vnějšího propoje vlastní spotřeby

s) odvodnění propoje kol. 0,7 MPa a blokovaných spotřebičů

t) odvodnění parovodu mezi redukční stanicí 4,5/0,7 MPa a kolektoru 0,7 MPa

1.3 Systém pomocných nádrží

Systém pomocných nádrží slouží ke sběru kondenzátů z blokových a neblokovaných zařízení strojovny, kondenzátů z vybraných zařízení pomocných systémů primárního okruhu, odvodnění hlavních parovodů, kondenzátů z drenáží technologického zařízení a potrubních systémů v nejnižších místech strojovny, návratu kondenzátů do sekundárního okruhu při nominálním provozu a odvodu kondenzátů do chemické úpravy vody. Systém se skládá ze dvou expandérů (tlakové nádoby), sběrné nádrže kondenzátů (SNK), dvou čerpadel SNK, vypouštěcí nádrže (VN) a dvou čerpadel VN [5].

Přiváděné kondenzáty, které mají vyšší teplotu než $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlak vyšší než $0,1\text{ MPa}$ je nutné nechat vyexpandovat v expandérech. Do expandérů je přiváděna následující média:

- voda z napájecí nádrže
- kondenzát z technologického kondenzátoru
- kondenzát z vysokotlakých ohříváků při oplachu parní strany
- kondenzát z vysokotlakého odvodnění parního potrubí
- kondenzát z parovodů před parními turbínami
- kondenzát ze středotlakých parovodů ve strojovně
- kondenzát z kondenzátoru komínkových par
- kondenzát z pojistného ventilu separátorů – přihříváčů
- kondenzát z výfuku pojistného ventilu redukčních stanic dochlazování
- kondenzát z čistících stanic aktivních vod
- kondenzát ze speciální prádely
- kondenzát z vany dezaktivace

V expandérech dochází k expanzi na tlak $0,1\text{ MPa}$ a teplotu max. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Parní prostor je propojen s atmosférou, kam odchází pára uvolněná při expanzi. Kondenzát z expandéru je veden do spodní části sběrné nádrže kondenzátů (SNK). Kondenzáty, jejichž tlak se pohybuje kolem $0,1\text{ MPa}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ lze zavést do SNK přímo. Jedná se o [5]:

- kondenzát z expandérů SNK
- kondenzát z odplyňovače primárního okruhu
- kondenzát z čistící stanice odluhů parogenerátorů
- kondenzát z vypouštěcí nádrže
- kondenzát z odparek a nádrží bórového koncentrátu
- kondenzát ze stanice zdroje chladu

Parní prostor SNK je propojen s atmosférou a maximální teplota kondenzátu je $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při nominálním provozu lze z SNK přepouštět kondenzát do expandéru provozních kondenzátů a odsud do kondenzátoru (návrat zpět do okruhu). K SNK jsou připojena dvě čerpadla, která při zvýšení hladiny v SNK slouží k přečerpání kondenzátu do nádrží CHÚV. Při zaznamenání radioaktivity v kondenzátu se přečerpává do kontrolních nádrží budovy aktivních provozů [5].

Vypouštěcí nádrž (VN) je umístěna na nejnižším místě strojovny. Jsou do ní zaústěny následující přírůdky [5]:

- kolektor odvodu vzduchu a vypouštění

- kolektor vypouštění parního prostoru kondenzátorů, kondenzátoru komínkových par, vysokotlaké a nízkotlaké regenerace
- výfuky pojistných ventilů nízkotlaké regenerace
- výfuky pojistných ventilů výtlačných tras dochlazovacích čerpadel

Z vypouštěcí nádrže jsou kondenzáty přečerpávány do sběrné nádrže kondenzátu pomocí dvou čerpadel [5].

1.4 Odvaděče kondenzátu

Odvaděče kondenzátu jsou součástí odvodňovací baterie. Slouží k periodickému odvádění vzniklého kondenzátu. Dle konstrukce lze odvaděče kondenzátu rozdělit do následujících typů [6]:

1) Termostatické odvaděče kondenzátu

Jejich funkce je podmíněna rozdílem teploty páry a kondenzátu. Pokud teplota kondenzátu klesne na nižší hodnotu, než je teplota páry, dochází k otevření odvaděče a odvodu kondenzátu z hlavního parního oběhu. Mezi typické termostatické odvaděče kondenzátu patří odvaděče kapslové, bimetalové a odvaděče s vlnovcem. Dále existují odvaděče využívající rozdílných tepelných roztažností kapalin.

2) Termodynamické odvaděče kondenzátu

Pracují na principu rozdílu rychlostí mezi párou a kondenzátem. Nejpoužívanějším typem termodynamických odvaděčů je diskový odvaděč. Pára procházející odvaděčem nadzvedává disk odvaděče a propouští směs páry a kondenzátu. Při expanzi se uvolňuje pára z kondenzátu a tím se zvyšuje objemový průtok média pod diskem. To vede ke zvýšení rychlosti a snížení tlaku pod diskem a odvaděč je uzavřen. Pára v kondenzačním prostoru za diskem tlačí na disk a nedovolí jeho otevření, dokud v kondenzačním prostoru nezkondenzuje a nesníží se tak její tlak. Následně se disk opět otevírá a celý proces se opakuje.

3) Mechanické odvaděče kondenzátu

Pracují na principu rozdílné hustoty páry a kondenzátu. Mezi nejpoužívanější typy patří zvonový nebo plovákový odvaděč.

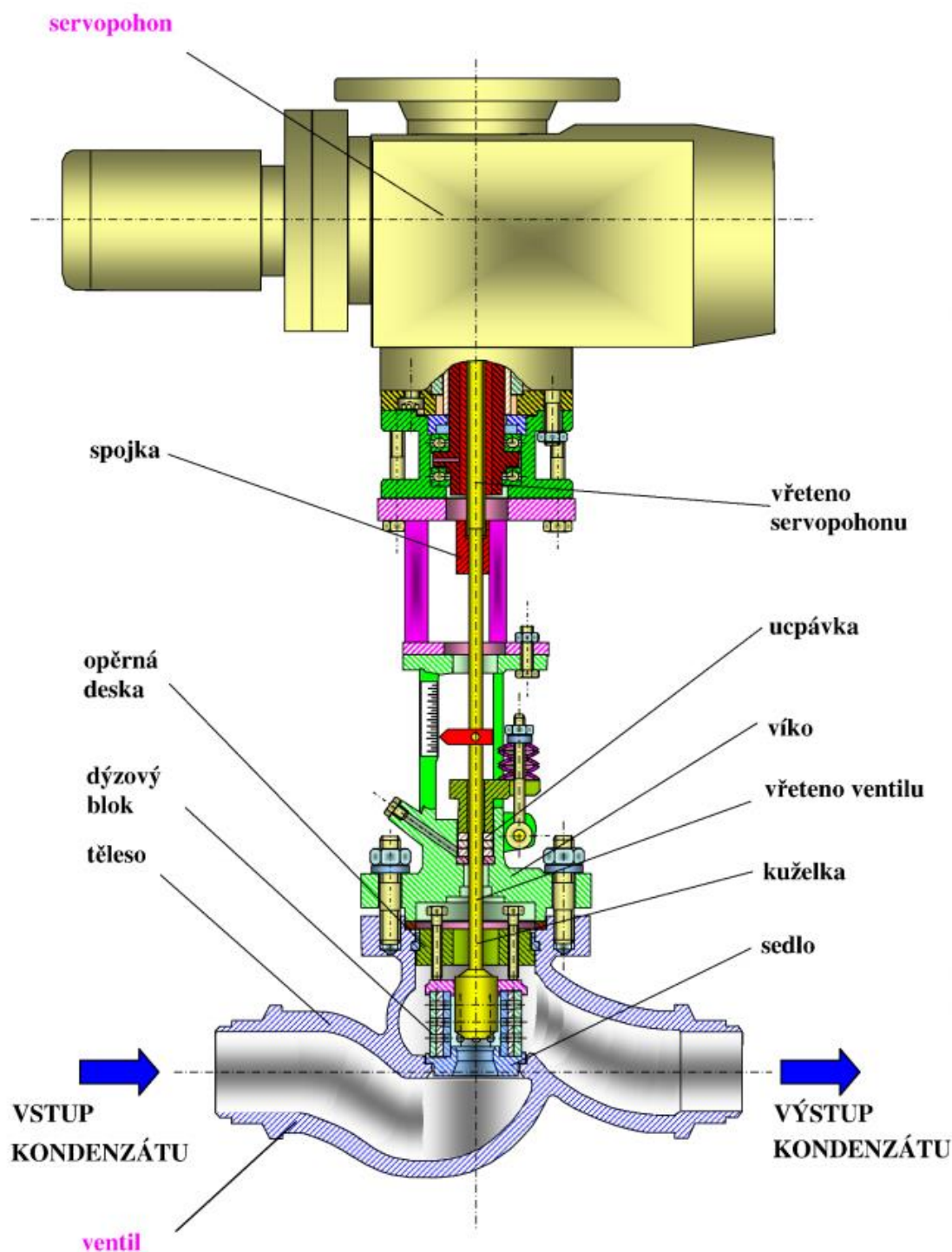
Mimo výše uvedené základní typy existuje celá řada dalších typů odvaděčů kondenzátu, které pracují na podobných principech nebo jsou kombinací předchozích skupin. Konkrétně v Jaderné elektrárně Dukovany jsou používány následující tři typy odvaděčů kondenzátu [5]:

- hladinový odvaděč kondenzátu
- bimetalový odvaděč kondenzátu
- termicko-plovákový odvaděč kondenzátu

1.4.1 Hladinový odvaděč kondenzátu

Hladinový odvaděč kondenzátu je složen z tělesa, které je vyrobeno jako odlitek. Vstupní částí tělesa je veden kondenzát k sedlu ventilu. V horní části tělesa je umístěna opěrná deska, s jejíž pomocí je dotlačován dýzový blok na obvod sedla. Dýzový blok je součástí složená z několika do sebe zasunutých segmentů a s několika řadami otvorů. K uzavření vnitřního prostoru ventilu slouží víko. Ve víku se nacházejí těsnicí kroužky, těsnění je také umístěno v dělicí rovině ventilu. Těsníci kroužky prochází vřetenem ventilu, na jehož spodním konci se nachází válcová kuželka, která dosedá do sedla. Na druhé straně vřetena se nachází spojka, která vřetenem ventilu spojuje s vřetenem servopohonu [5].

Servopohon je elektrický, složený z elektromotoru a převodovky. K převodovce je připojená matice, která převádí otáčivý pohyb elektromotoru na posuvný pohyb vřetena servopohonu [5]. Konstrukce hladinového odvaděče je patrná z následujícího obrázku:

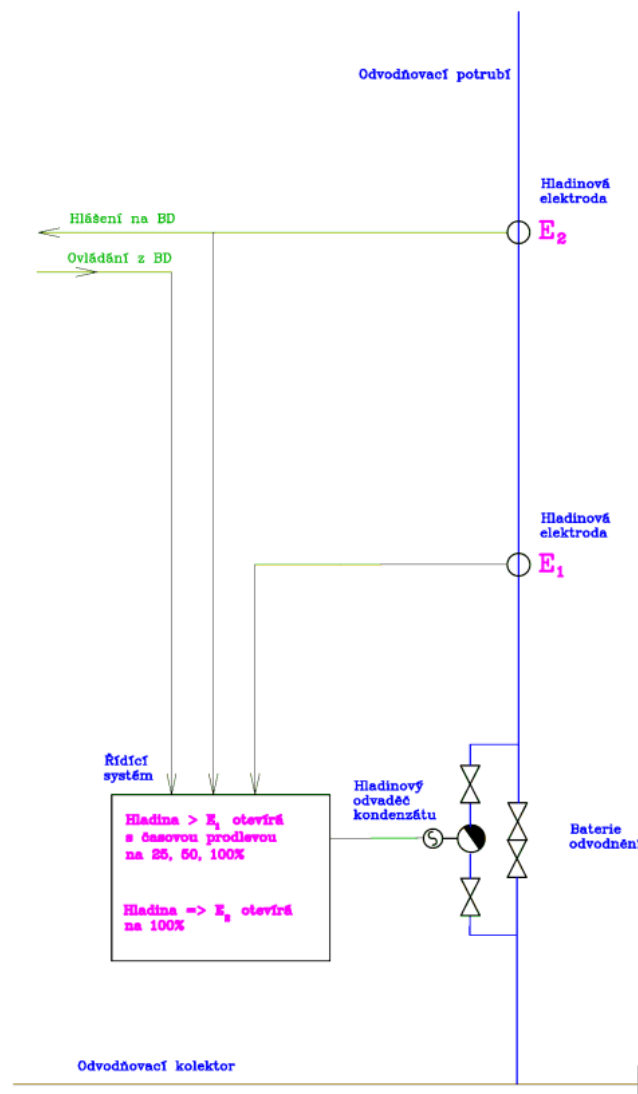


Obr. 1.11 Hladinový odvaděč kondenzátu [5]

Hladinový odvaděč kondenzátu je ovládán pomocí řídicího systému. Ten vyhodnocuje signály přiváděné ze dvou hladinových elektrod. Funkce odvaděče je taková, že měří hladinu kondenzátu v přívodním potrubí. Pokud hladina dosáhne na úroveň první, tj. níže položené elektrody, ventil se otevře na 25 % a systém spustí odečet času, po kterém zkontroluje signál od první elektrody. Pokud elektroda po odečtu znovu ukazuje dosažení hladiny kondenzátu, otevře se ventil na 50 % a celý děj se opakuje. Pokud po třetím odečtu opět hladina dosahuje první

elektrody, ventil se otevírá na 100 %. Pokud hladina při vyhodnocení nedosahuje k první elektrodě, ventil se uzavře. Pokud ventil nestačí ani při 100 % otevření odvádět všechny kondenzát, hladina vystoupá ke druhé elektrodě. Ta spustí signalizaci v blokové dozorně, obsluhující personál otevře obtokovou trasu baterie odvodnění a kondenzát je odveden obtokem [5].

Při běžném provozu je množství kondenzátu vznikajícího v potrubních trasách a v turbíně relativně nízké, proto je ventil seřízen tak, aby při plném uzavření ventilu zůstávala mezi sedlem a kuželkou malá mezera. Zavírání a otevírání ventilu se tak provádí jen v nutných případech a zvyšuje se tím jeho životnost [5]. Funkce hladinového odvaděče je znázorněna na následujícím obrázku:

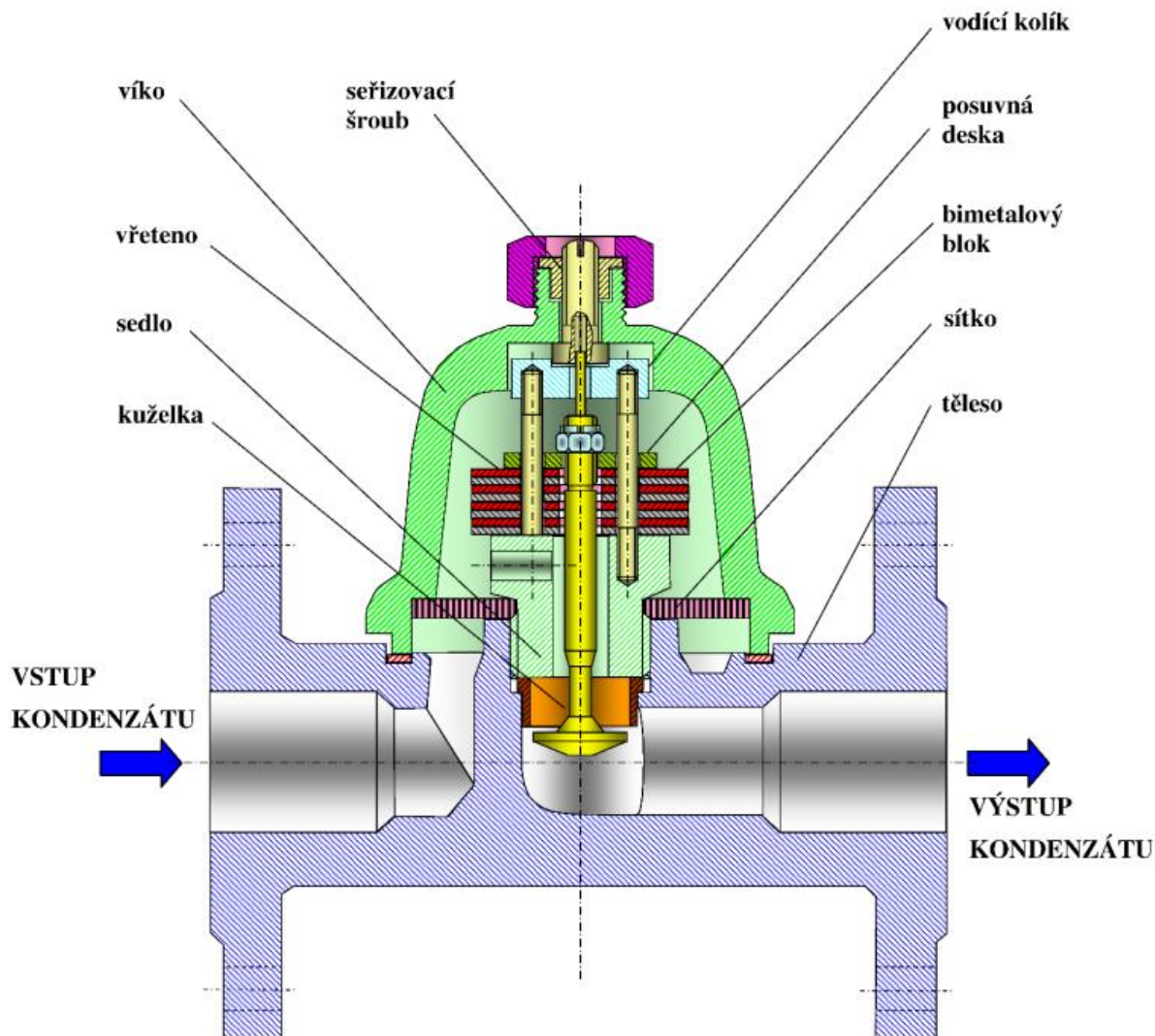


Obr. 1.12 Funkce hladinového odvaděče kondenzátu [5]

1.4.2 Bimetalový odvaděč kondenzátu

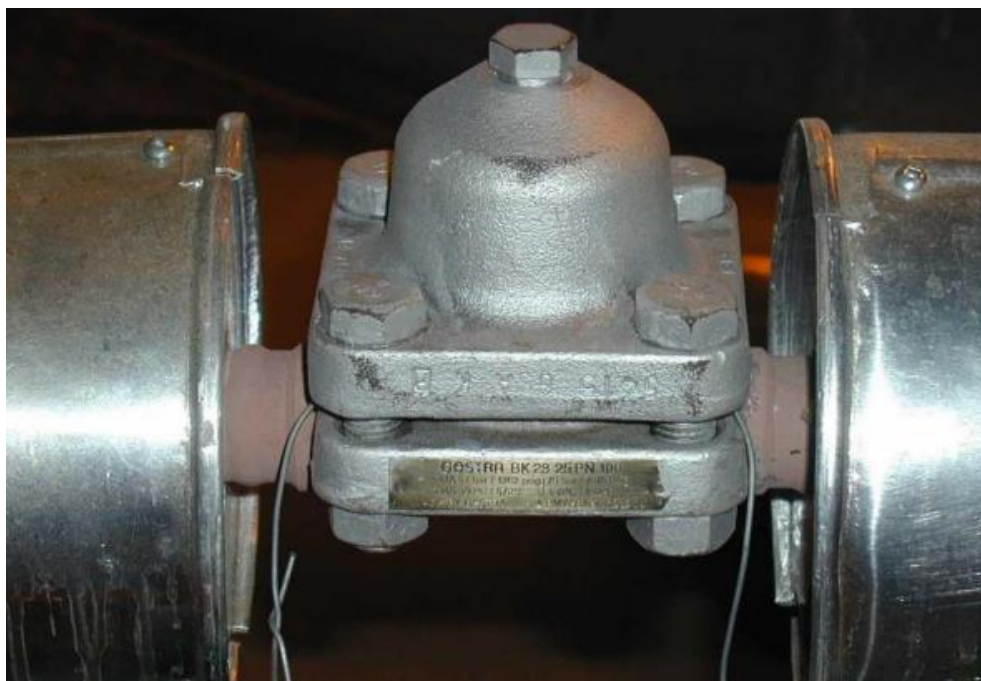
Bimetalový odvaděč kondenzátu je složen z tělesa, které je vyrobeno jako odlitek. Těleso má vstupní a výstupní hrdlo a je k němu připojeno sedlo. Sedlo tvoří dosedací plochu pro kužel ventilu, horní část sedla tvoří opěrnou plochu pro bimetalový blok. Na těleso je také přišroubováno víko, které uzavírá vnitřní prostor odvaděče. V dělicí rovině ventilu je opět uloženo těsnění. Ve vnitřním prostoru víka se nachází komora, tzv. „teplá komora“, ve které se nachází bimetalový blok. Ten se skládá z dvojic destiček, každá je vyrobená z odlišných slitin kovů. Odtud vznikl název bimetalový. Destičky jsou v několika místech k sobě připojeny a naskládány na sebe. Nad celým blokem je usazena posuvná deska, jejíž pohyb je vymezen kolíky. K posuvné desce je připojené vřeteno ventilu, na jehož konci se nachází kuželka dosedající na sedlo ventilu. Kondenzát přitékající do ventilu vstupuje do „teplé komory“ přes sítko, které zachycuje větší nečistoty, které by mohly být v kondenzátu unášeny. V horní části odvaděče se nachází seřizovací šroub, kterým se nastavuje předpětí bimetalových destiček [5].

Konstrukce bimetalového odvaděče je patrná z následujícího obrázku:



Obr. 1.13 Bimetalový odvaděč kondenzátu [5]

Funkce bimetalového odvaděče je periodicky odvádět (přepouštět) přitékající kondenzát do odvodňovacího kolektoru. Při daném provozním tlaku přitéká kondenzát odvodňovacím potrubím a je na mezi sytosti. Hromadí se v „teplé komoře“ a ohřívá desky bimetalového bloku, které se na základě rozdílných teplotních roztažností jednotlivých slitin deformují. Deformací zvedají posuvnou desku vzhůru, přes vřeteno je kuželka přitlačena k sedlu ventilu. Tím je ventil uzavřen. Bimetalový odvaděč není zaizolován, teplo média v „teplé komoře“ je předáváno do okolí a kondenzát chladne. Tím se deformace jednotlivých bimetalových desek snižuje a ventil se při teplotě kondenzátu o cca 10 °C nižší, než je mez sytosti otevírá. Dochází k vypouštění kondenzátu do odvodňovacího kolektoru. „Teplá komora“ se postupně napouští teplejším kondenzátem a desky se opět začnou deformovat, dojde tak k uzavření ventilu a celý proces se opakuje [5].

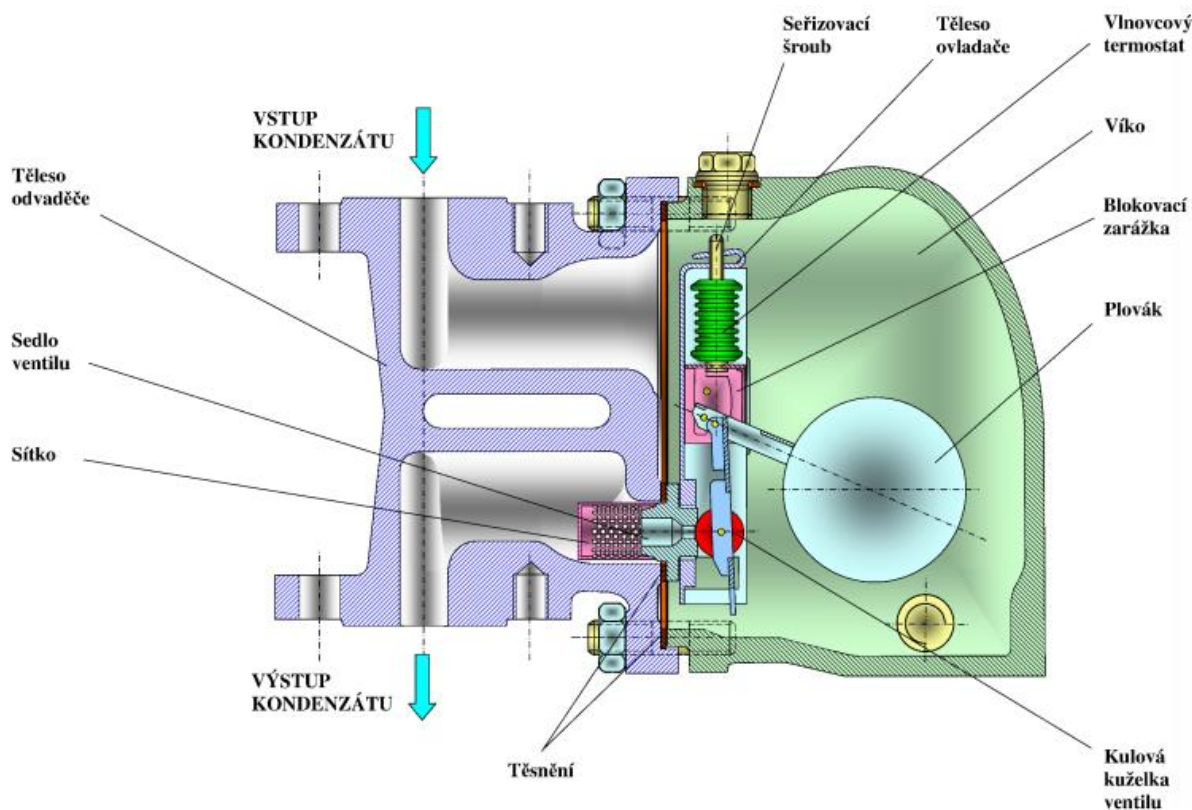


Obr. 1.14 Bimetalový odvaděč kondenzátu – foto [5]

1.4.3 Termicko-plovákový odvaděč kondenzátu

Termicko-plovákový odvaděč kondenzátu je složen z tělesa, které tvoří jeho přívodní a výstupní hrdla. Tělo zároveň vymezuje kanály, které ústí do vertikální dělící roviny. V ní se nachází sedlo, které tvoří dosedací plochu pro kuželku. Na výstupní části sedla se nachází sítko. Vnitřní prostor odvaděče je vymezen víkem, které je přišroubované k tělesu a utěsněno těsněním. Ve vnitřním prostoru odvaděče se nachází tzv. „regulační komplet“, který je tvořen z tělesa ovladače, vlnovcového termostatu, plováku a kulové kuželky. V horní části tělesa ovladače se nachází seřizovací šroub, kterým je uchycen vlnovcový termostat. Ke druhému konci vlnovcového termostatu je připevněna blokovácí zarážka. Tělo ovladače se dále skládá z plováku a kulové kuželky [5].

Konstrukce termicko-plovákového odvaděče kondenzátu je názorně zobrazena na následujícím obrázku.



Obr. 1.15 Termicko-plovákový odvaděč kondenzátu [5]

Princip funkce termicko-plovákového odvaděče je následující. Přitékající kondenzát na mezi sytosti tepelně deformuje vlnovcový termostat, který tlačí na blokovací zarážku. Blokovácí zarážka drží páku plováku a nedovoluje otevření výstupní komory. Vnitřní prostor termicko-plovákového odvaděče kondenzátu se postupně napouští kondenzátem a chladne. Dochází ke snížení deformace vlnovcového termostatu a k otevření blokovácí zarážky. Pokud je ve vnitřním prostoru odvaděče dostatečná hladina, zvedne se plovák a dochází k vypouštění kondenzátu k odvodňovacímu kolektoru. Po snížení hladiny v komoře plovák uzavírá výstupní potrubí a přitékající teplejší kondenzát deformuje vlnovcový termostat a zavírá blokovací zarážku. Následně se celý proces opakuje [5].

1.5 Vodní hospodářství jaderné elektrárny

V jaderných a tepelných elektrárnách je voda nejdůležitějším médiem využívaným pro výrobu elektrické energie. Základní funkce vody v jaderné elektrárně jsou následující [7]:

- V primárním okruhu v jaderném reaktoru slouží k chlazení aktivní zóny a k transportu tepla do parogenerátoru. Zároveň v primárním okruhu funguje jako moderátor, tj. zpomaluje neutrony, aby se dostaly do stavu tepelných neutronů a zvyšuje tím pravděpodobnost štěpení uranu U^{235} .
- V sekundárním okruhu ve formě páry transportuje teplo z parogenerátoru do turbogenerátoru, který roztáčí.
- Slouží k odvedení zbytkového tepla ke spotřebičům a k chladícím věžím, tím odvádí nevyužitelné teplo do okolního prostředí.

Kvalita vody především v primárním a sekundárním okruhu je pečlivě sledovaná a udržovaná. V primárním okruhu je nutné zabezpečit její vysokou čistotu, je prováděna demineralizace a voda je zbavována všech dalších látek. Kvalita vody je udržována neustálým přidáváním chemikálií a nepřetržitým čištěním. Ve vodě primárního okruhu je dále udržována koncentrace kyseliny borité, která slouží k řízení výkonu aktivní zóny v závislosti na vyhořívání paliva, popř. pro zastavení štěpné reakce při odstávkách a výměně paliva [7].

Voda je do jaderné elektrárny Dukovany dopravována především z řeky Jihlavy. Roční spotřeba je cca 40 milionů m^3 . Největší část odčerpané vody slouží jako chladicí voda pro různá zařízení elektrárny. V chladicích věžích dochází k jejímu odpařování, odpařuje se však pouze čistá voda, minerální látky a soli zůstávají v okruhu a dochází ke zvyšování jejich koncentrace. To nepříznivě působí na konstrukční materiály, které s kapalinou přicházejí do styku a jejich korozi. Dále může docházet k zanášení teplosměnných ploch. Proto je část vody z chladicích okruhů odpouštěna a doplňována novou, aby koncentrace nežádoucích látek nepřesáhly příslušnou mez. Pro zásobování elektrárny vodou slouží čerpací stanice, vodojemy, úpravná chladicí vody a chemická úpravná vod [7].

Z říční vody jsou ještě před vstupem do čerpadel čerpací stanice odstraněny pomocí hrubých česel největší nečistoty jako kmeny, kusy dřeva, odpadky apod. Následně surová voda prochází přes tzv. čiríče. Do vody jsou přidávány koagulanty, tj. látky napomáhající srážení. Nečistoty se spojují do větších shluků, vloček a jsou ze surové vody odstraněny. Následně voda prochází čerpací stanicí do vyrovnávacích vodojemů. Odtud v úpravně chladicí vody je voda upravována pro okruh cirkulační chladicí vody, technické vody důležité, technické vody nedůležité a požární vody. Cirkulační chladicí voda odvádí teplo z kondenzátorů za turbínou, tj. ze sekundárního okruhu. Technická voda důležitá slouží k chlazení spotřebičů, které jsou nezbytné pro zajištění jaderné bezpečnosti a nelze u nich přerušit odvod tepla při výpadku napájení. Technická voda nedůležitá zajišťuje chlazení spotřebičů, které nemají přímý vliv na jadernou bezpečnost a nemají zajištěné náhradní napájení [7].

Chemická úpravná vod (CHÚV) slouží pro úpravu vody pro primární okruh, sekundární okruh a horkovodní systémy. Voda do chemické úpravné vod je přiváděna z vyrovnávacích vodojemů. Nejprve jsou čířením odstraněny látky, které by prošly filtrací. Následně voda prochází pískovou filtrací, která je tvořena křemičitým pískem s vrstvou křemenných oblázků. Poté je voda odplyněna a uschována v jímkách čířené filtrované vody. Takto předupravená voda

obsahuje rozpuštěné anorganické látky, které se odstraňují demineralizací. Do vzniklé demineralizované vody jsou následně přidávány požadované chemické sloučeniny [7].

Chemické sloučeniny upravují chemický režim vody a jejich smysl je následující [8]:

- zabránit zanášení a tvorbě usazenin na teplosměnných plochách
- zabránit korozi konstrukčních materiálů
- minimalizovat obsah nečistot v médiu
- potlačit koncentraci rozpuštěného kyslíku

V primárním okruhu je požadována voda vysoké kvality, čistoty a chemické úpravy. Chemickým dávkováním jsou do vody primárního okruhu přidávány následující látky [8]:

- | | |
|---|--|
| • kyselina boritá (H_3BO_3) | Slouží ke kompenzaci změn reaktivity paliva a při odstávce zajišťuje podkritičnost reaktoru. |
| • hydroxid draselný (KOH) | Slouží ke kompenzaci kyselého charakteru kyseliny borité, pH chladiva bývá 7 – 7,2. |
| • čpavek (NH_3) | Slouží k omezení kyslíku a zamezení koroze. |

Dále je v primárním okruhu udržována koncentrace chloridů a fluoridů, které nepříznivě působí na nerezovou ocel a mohou způsobovat korozní praskání. Ionty chloridů a fluoridů jsou zachytávány na ionexových filtrech [8].

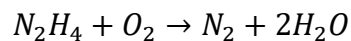
V sekundárním okruhu proudí demineralizovaná voda. Sleduje se u ní zejména čistota, aby nedocházelo k zanášení teplosměnných ploch výměníků a parogenerátorů. Na rozdíl od vody primárního okruhu, v sekundárním okruhu dochází ke změně fáze vody (varu a kondenzaci), tím dochází ke koncentrování rozpuštěných solí v určitých místech, soli mohou pronikat do páry. Dalším problémem může být pronikání cizích vod (z primárního a chladicího okruhu) do napájecí vody. V kondenzátoru a parogenerátorech má napájecí voda nižší tlak než druhé médium. U cirkulační chladicí vody nejsou parametry a chemický režim tak důsledně sledovány, její pronikání do napájecí vody zhoršuje její parametry. Dalším rozdílem oproti primárnímu okruhu je pestrost materiálů, s kterými napájecí voda přichází do styku (nerezové oceli, uhlíkaté oceli, slitiny mědi, slitiny titanu atd.). Při udržení chemického režimu je nutné volit kompromis mezi různými parametry, aby nedocházelo k přílišné degradaci vybraných materiálů. Napájecí voda také při oběhu okruhem výrazně mění tlak a teplotu. Dochází tak ke změnám rozpustnosti a účinnosti dávkovaných aditiv [8].

Klíčovou komponentou, zejména z důvodu jaderné bezpečnosti je parogenerátor. Chemický režim sekundárního okruhu se proto volí takový, aby vliv napájecí vody na materiál parogenerátoru byl co nejnižší [8].

Chemický režim sekundárního okruhu je udržován následujícími mechanismy [8]:

- termickým a vakuovým odplyněním
- dávkováním NH_3 (čpavku)
- dávkováním N_2H_4 (hydrazinu)
- čištěním
- vodovýměnou

Rozpuštěný kyslík představuje vysoké nebezpečí, způsobuje korozi slitin železa a může vést k praskání kolektorů v parogenerátoru (zvláště nebezpečná porucha). Za provozu je proto kyslík odstraňován vývěvami v kondenzátoru, termickým odplyněním a chemicky v celém okruhu (hydrazin). Hydrazin váže kyslík dle následující reakce:



Do napájecí vody je také dávkován sodík, který slouží jako účinný indikátor znečištění [8].

2 Koroze a metody oprav

2.1 Koroze

Lidmi používané kovy se v přírodě většinou nevyskytují v čisté formě. Aby je bylo možné průmyslově používat, dochází k jejich zpracování, při kterém je do nich vloženo určité množství energie. Čistý kov je po zpracování nestabilní, uvolňuje uloženou energii do okolního prostředí. Tím snižuje svou energii na minimum a přechází do stabilní formy. Tento děj lze označit jako korozi. Dle typů reakce lze tyto degradační procesy rozdělit na chemické a elektrochemické. Jedná se o reakci mezi materiálem a prostředím materiál obklopující, reakce vyvolává úbytek hmotnosti a zhoršení jeho vlastností. Prostředí, které materiál obklopuje, je v kontaktu s jeho povrchem a lze je popsat především skupenstvím, chemickým složením, teplotou, tlakem, zatížením povrchu apod. [10][12].

Chemická koroze probíhá v oxidačně působících plynech (vzduch, O_2 , CO_2 , SO , SO_2 , H_2S) a v redukčně působících plynech (H_2 , CH_4 , NH_4). Obecně chemická koroze je chemická reakce probíhající mezi povrchem součásti a elektricky nevodivým prostředím (nejčastěji plynem) za normálních, ale hlavně za vysokých teplot. Jako příklad chemické koroze je vznik okujů při tváření oceli za tepla [10].

Elektrochemická koroze probíhá ve vodivých prostředí, tj. v elektrolytech (i v půdách). Děj probíhá při normální teplotě. Materiál koroduje, když se vytvoří galvanický článěk. Mezi povrchem a okolím vznikne potenciálový rozdíl, který je vyjádřený hodnotou přepětí η a charakterizuje hnací sílu příslušné korozní reakce. Pokud je $\eta < 0$, reakce probíhá ve směru redukce, pokud je $\eta > 0$, reakce probíhá ve směru oxidace [10].

Materiál v reakci na daný typ prostředí může vykazovat následující tři typy chování [12]:

- **imunní chování** Materiál je vůči prostředí netečný, neprobíhá žádná reakce a nedochází ke korozi.
- **aktivní chování** Materiál koroduje, rozpouští se v okolním prostředí a produkty reakce jsou látky, které korozi neomezuji.
- **pasivní chování** Materiál koroduje, výsledkem reakce jsou nerozpustné látky, které se usazují na povrchu materiálu a vytváří tzv. „pasivační povlak“, který další korozi omezuje.

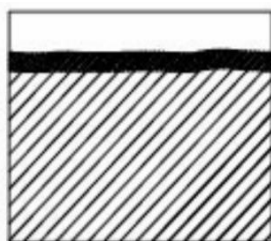
Některé materiály jsou náchylnější na korozi. Jedná se zejména o lithium, draslík nebo hořčík a patří do skupiny neušlechtilých kovů. Naopak zlato, stříbro nebo platina jsou materiály vysoce odolné proti korozi a v atmosférickém prostředí nekorodují. Nazývají se ušlechtilé. Jako měřítko reaktivity kovu s prostředím se používá tzv. elektrodový potenciál, tj. hodnota potenciálu elektrody určitého kovu ponořené do roztoku jeho soli za normálních podmínek [12].

2.1.1 Formy koroze

Dle mechanismu vzniku, průběhu a celkového poškození lze korozi kovů rozdělit do následujících skupin [10]:

a) Rovnoměrná koroze

Při rovnoměrné korozi dochází k rovnoměrnému rozrušování a rozpouštění povrchu materiálu vystaveného koroznímu prostředí. Tento typ koroze patří z hlediska úbytku materiálu k nejdestruktivnějším, v praxi však nepředstavuje velký problém, neboť je jednoduché ji odhalit a pomocí vhodných metod eliminovat.



Obr. 2.1 Rovnoměrná koroze [14]

b) Bodová/důlková koroze

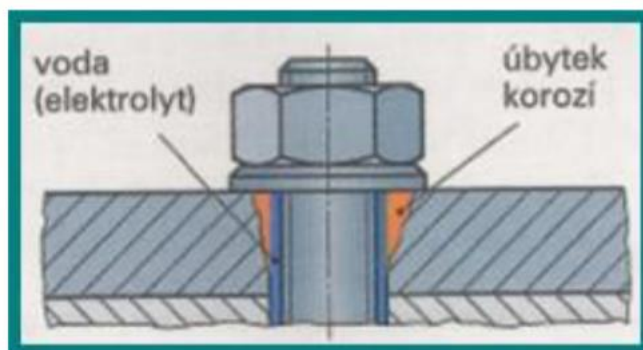
Při bodové korozi v materiálu vznikají důlky různých velikostí. Mohou být od sebe izolovány, v některých případech splývají a vytvářejí zdrsňený povrch. Bodová koroze může být způsobena lokální změnou korozního prostředí v místě na povrchu materiálu, kde dochází k agresivnějšímu napadení. Jedná se o jednu z nejnebezpečnějších forem koroze, je obtížné ji detekovat pouhým okem a přes relativně malý úbytek materiálu může způsobit selhání konstrukce součásti. Bodová koroze se vyskytuje například u nerezových ocelí v místech, kde byla poškozena pasivační vrstva a okolní prostředí obsahuje brom, jód nebo chlór.



Obr. 2.2 Bodová koroze [14]

c) Štěrbínová koroze

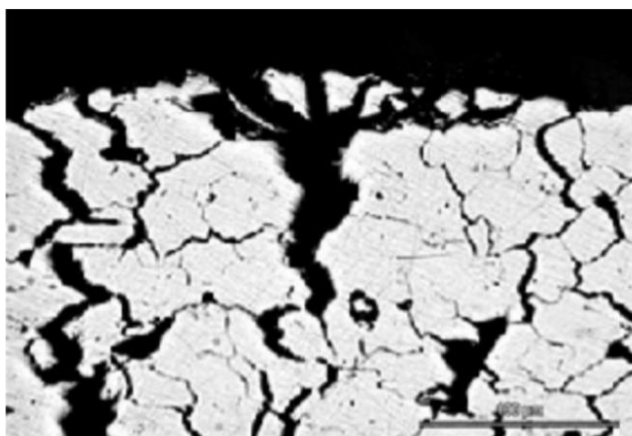
Koroze vzniká v malých mezerách ve styku dvou materiálů nebo v okolí malých štěrbin. Ve štěrbinách dochází ke snižování koncentrace kyslíku a štěrbina získává anodický charakter. V okolí štěrbin vzniká lokální vysoce korozivní prostředí. Obecně platí, že s rostoucí plochou a hloubkou štěrbin se rychlost korozního napadení zvyšuje. Štěrbínová koroze vzniká velmi často u přírub, pryžových okroužků, děr pro šrouby, nýtovaných a závitových spojů, ve švech a metalurgických defektech. Zvláště nebezpečná bývá pro nerezové oceli v prostředí obsahující chlór.



Obr. 2.3 Štěrbínová koroze [14]

d) Mezikrystalová koroze

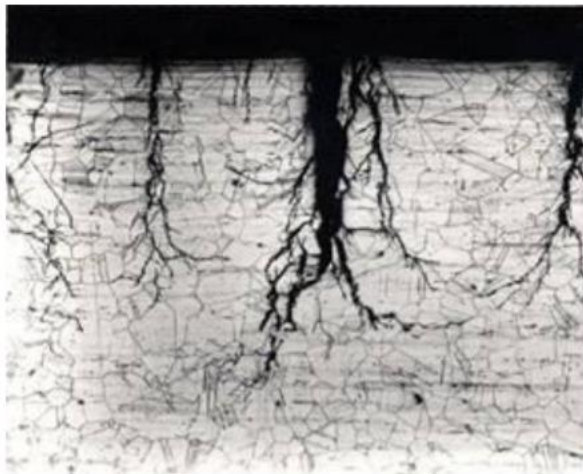
Mezikrystalová koroze je charakteristická rozpouštěním materiálu na hranicích jednotlivých zrn nebo přiléhajícího okolí, bez výrazného napadení samotných zrn. Vzniká v důsledku nehomogenity materiálu na kontaktu zrn (mohou se zde vyskytovat nečistoty, precipitáty či intermetalické fáze). Ty vznikají v důsledku tepelného zpracování. Precipitáty mohou obsahovat vyšší podíl legujících prvků, přilehlé oblasti hranic zrn jsou v důsledku toho o legující prvky ochuzeny a jsou méně odolné vůči korozi a budou napadány přednostně. Mezikrystalová koroze často vzniká u austenitických ocelí, na hranicích zrn se tvoří karbidy bohaté na chrom. Na hranicích zrn je chromu nedostatek a nevytvoří se dostatečná pasivační vrstva. Jako ochrana proti tomuto typu koroze je potřeba snížit množství nečistot na minimum a zvolit vhodné tepelné zpracování, aby k tvorbě precipitátů na hranicích zrn docházelo jen minimálně. Vhodné je také snížit obsah uhlíku nebo přidat stabilizující prvky jako Ti, Nb, Ta, které mají větší afinitu k uhlíku než chrom a tvoří karbidy přednostně.



Obr. 2.4 Mezikrystalická koroze [14]

e) Korozní praskání

Při kombinaci korozních vlivů a působení kombinovaného statického namáhání dochází ke vzniku prasklin v materiálu. Napadení je intenzivnější, než pokud by tyto dvě formy působily samostatně. Podobným jevem je korozní únava, která se vyskytuje u dynamického zatížení v korozním prostředí.



Obr. 2.5 Korozní praskání [15]

f) Erozní koroze

Erozní koroze je společně s FAC (z anglického flow-accelerated corrosion, což značí korozi, která je zvýšená vlivem proudícího média) jednou z nejvýznamnějších degradačních mechanismů působících uvnitř potrubních systémů. Vzniká v místech, kde dochází k obtékání materiálu korozním médiem. Velice často se vyskytuje v potrubích chladicích systémů tepelných a jaderných elektráren. Erozní koroze je degradační mechanismus, který zeslabuje potrubí zevnitř a část materiálu je odnášena proudícím médiem. Dochází k ní za specifických podmínek, zejména v místech vysokých rychlostí média. Proudící médium omílá a narušuje ochrannou pasivační vrstvu, místa se zeslabenou vrstvou jsou potom náchylnější ke korozi. Vliv na erozní korozi má zejména chemický režim proudícího média (pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku a teplota). Vliv má také chemické složení daného potrubí. Dle [24] bylo pozorováno snížení vlivu erozní koroze při zvyšujícím se pH, při vyšších koncentracích chromu v materiálu potrubí a při zvýšené koncentraci rozpuštěného kyslíku v proudícím médiu.

Pokud potrubím proudí sytá pára s minimální vlhkostí, potrubí není náchylné k erozní korozi. Kondenzát vzniklý v potrubí zvyšuje pravděpodobnost její tvorby. Zeslabení potrubí bývá většinou v místě různých anomálií, např. vady v materiálu nebo špatně provedených svarů, které způsobují lokální turbulence a zvýšené zeslabování [11]. V místech vysoké turbulence dochází nejprve k důlkové/bodové korozi, v kombinaci s mechanickým narušením povrchu tuhými částicemi unášenými médiem vzniká erozní koroze. V potrubních systémech, kterými proudí parovodní směs, např. ve výparnicích, byla dle [9] pozorována spojitost mezi obsahem mědi, chromu, molybdenu, uhlíku a odolnosti uhlíkových ocelí proti erozní

korozi. Odolnost je vyjádřena číslem G_{KEMA} , které lze vypočítat z následující rovnice:

$$G_{KEMA} = 90 - 160 \cdot Cu - 115 \cdot Cr - 40 \cdot Mo + 35 \cdot C$$

Cu, Cr, Mo a C označují podíly jednotlivých legujících prvků. Hodnota $G_{KEMA} < 80$ charakterizuje materiál dostatečně odolný vůči erozní korozi a vhodný pro použití v potrubních systémech s parovodní směsí.

V parovodech je erozní koroze způsobována přítomnými kapičkami vody a pevnými částicemi unášenými parou. Zvláště patrná bývá erozní koroze za vstřikem chladicí vody, proto je za vstřikem potrubí chráněno keramickými vložkami. Dále také na lopatkách parních turbín. K zamezení erozní koroze v parních potrubích slouží několik mechanismů. Jedná se zejména o dostatečnou separaci kapiček z páry, ochrana oběhového média od kontaminace organickým materiálem, zamezení pronikání neupraveného média nebo média s horšími vlastnostmi. Dále je možné chránit samotný materiál, tj. použít různé vložky, nátěry, odolnější materiály apod.

Erozní koroze je dále patrná v potrubích odvádějící kondenzát a ve spotřebičích páry. V kondenzátních potrubích totiž dochází k náhlým zvýšením rychlosti média, zvláště v místech, kde náhle klesá tlak a dochází k uvolňování páry. To vede ke zvýšení měrného objemu, který vyvolá ono zvýšení rychlosti. Zvláště náchylné k erozní korozi jsou měděné trubky. K zamezení koroze v potrubích odvádějících kondenzát je nutné navrhnout dostatečné rozměry potrubí, aby rychlosti v potrubí nedosahovali příliš vysokých hodnot.



Obr. 2.6 Erozní koroze [13]



Obr. 2.7 Erozní koroze uvnitř trubky [13]

2.1.2 Ochrany proti korozi

Mimo výše uvedené způsoby eliminace korozních vlivů existují i další metody. Lze je rozdělit do následujících skupin [16]:

- **Volba vhodného materiálu**

Již při návrhu lze s korozním vlivem prostředí počítat a s volbou vhodného konstrukčního materiálu lze korozi zamezit. Různé materiály totiž korodují za stejných provozních podmínek různou rychlostí, nebo vůbec. Vhodné jsou zejména materiály, které vytvářejí pasivační vrstvu, která další korozi zabrání.

- **Konstrukční úpravy**

Vhodnou konstrukcí lze vliv korozního prostředí také potlačit. Součásti by měly mít dostatečně hladký povrch, tj. nízkou drsnost povrchu. Při tepelném zpracování (normalizační žhání, žhání ke snížení vnitřního pnutí), dochází k snížení pravděpodobnosti vzniku následné koroze. Dále vhodným návrhem technologie výroby lze předcházet vzniku prasklin, napětí při svařování apod.

- **Úpravy korozního prostředí**

Snížení koncentrace korozivně působících látek v okolí součásti je jeden ze způsobů, jak korozi zabránit. Pozitivně působí také snížení vlhkosti, zejména v páře nebo okolním vzduchu.

- **Ochrana povlaky**

Jedná se o v praxi nejrozšířenější způsob. Smyslem této metody je vytvořit na povrchu vrstvu materiálu, který je netečný ke korozi a chrání povrch součásti před korozním vlivem prostředí. Před nanesením povlaku je nutné povrch dostatečně ošetřit, tj. odmastit, očistit a osušit. Existuje několik druhů používaných povlaků dle následujícího rozdělení:

- **Kovové povlaky**

Existuje několik způsobů nanášení kovových povlaků. Chemický způsob povlakování funguje na principu nanášení kovu bez elektrického povrchu (např. niklové povlaky). Galvanické pokovování využívá stejnosměrný proud v galvanické lázni (mědění). Žárové povlaky vznikají ponořením součásti do taveniny (např. zinkování). Difúzní povlaky vznikají přestupem povlakového kovu do kovu chráněného (chromování oceli). Dalším typem kovových povlaků jsou kondenzační povlaky, které vznikají odpařováním povlakové látky ve vakuu. V tepelných a jaderných elektrárnách je v poslední době často využívána metoda žárového nástřiku. Tato metoda kromě ochrany povrchu součásti umožňuje již sloužící, zkorodovanou součást renovovat. Vhodná je také z toho důvodu, že ji lze provést na místě a není nutné důležité komponenty z elektráren složitě odvážet. V některých případech by to ani nebylo možné. Používají se dvě technologie žárového nástřiku [17]:

- **Nástřik elektrickým obloukem (TWAS)**

Tato metoda je univerzální a levná. Je charakteristická vysokou efektivitou a rychlostí depozice. Přídavný materiál je ve formě drátu podáván do nástřikového zařízení, kde je mezi špičkami drátu zapálen elektrický oblouk. Materiál na špičkách drátu je taven a vhodným plynem (většinou tlakovým vzduchem) je unášen směrem k povrchu povlakované součásti. Po dopadu rychle tuhne. Při letu je povrch kapiček v kontaktu s atmosférou a dochází k oxidaci. Po dopadu a ztuhnutí jsou zoxidované částice součástí mikrostruktury povlaku. Technologií TWAS lze vytvářet povlaky o tloušťce až několik jednotek milimetrů [17].

- **Nástřik za studena („Cold Spray“)**

Tato metoda využívá pracovních plynů, většinou Ar, N, He, které nesou částice materiálu. Rychlost částic několikanásobně převyšuje rychlost zvuku. Kovové částice jsou před nástřikem nahřívány na teplotu pod bodem tavení, aby došlo k jejich změknutí. Vysoká kinetická energie částic se při dopadu mění na energii potřebnou k deformaci částic a na tepelnou energii, což má za důsledek vznik lokálního mikrosvaru na hranici podkladového materiálu a mezi jednotlivými částicemi. Na rozdíl od nástřiku elektrickým obloukem je výsledný povlak málo pórovitý a homogenní, neobsahuje oxidy vzniklé reakcí povrchu kapiček s atmosférou. U této metody také neexistují limity pro tloušťku nanesených vrstev [17].

- **Nátěry**

Jedná se o souvislé povlaky, které jsou nanesené v jedné nebo více vrstvách. Materiál nátěru jsou většinou upravené ropné produkty. Nanášení může být máčením, štětcem, nástřikem apod.

- **Smaltování**

Tato metoda spočívá v nanesení tenké vrstvy borsilikátového skla. Smalty bývají lehké a chemicky odolné. Lehce se opotřebí při nárazech a velkých změnách teplot.

- **Povlakování plasty a pryží**

Povlaky jsou nanášeny ve formě prášku, který se teplem roztaví. Mezi používané materiály pro tvorbu povlaků patří PVC, PE, Teflon apod.

2.2 Opravy potrubních systémů sekundárního okruhu

Potrubní systémy v jaderných a tepelných elektrárnách jsou charakteristické svým dlouhodobým provozem. Odstávky bývají řádově po několika měsících až roce provozu. Při této relativně dlouhé provozní periodě mohou na potrubních větvích parovodů, potrubních systémů vedoucí napájecí vodu nebo kondenzát, uhlovodíky a různé chemikálie, vznikat netěsnosti. Netěsnosti mohou vznikat na potrubí především v místech, kde jsou různé materiálové defekty. Různé části potrubí mohou být cyklicky tepelně namáhané, typický je např. prostor za odvaděči kondenzátu, který kondenzát vypouští periodicky po snížení jeho teploty. Netěsnosti také mohou vznikat relaxací šroubů, z důvodu nevhodného těsnicího materiálu, nekvalitních těsnících povrchů nebo nesprávného předpětí šroubů. Potrubí může být poškozeno vnější silou na něj působící. Proudící médium často způsobuje erozní korozi, především v místech, kde dochází ke změně směru proudění [18].

V případě vzniku netěsnosti má obslužný personál tři možnosti řešení daného problému [18]:

- **Nechat médium volně unikat do atmosféry nebo do kanalizace.**

V tomto případě však dochází ke ztrátě energie média, snížení účinnosti cyklu. V případě ztráty chemicky upraveného média také k citelné finanční ztrátě, neboť je nutné médium do oběhu více doplňovat. Unikající kondenzovaná pára navíc může způsobovat poruchy elektrických obvodů. Unikající média také mohou poškozovat těsnící plochy, izolace, stavební konstrukce a okolní zařízení. Mohou také představovat riziko pro obslužný personál. Tato metoda řešení problému není příliš vhodná.

- **Zařízení odstavit a provést opravy.**

Tato metoda může být ve výsledku dražší než nechat médium volně unikat. V důsledku nevýroby vznikají vysoké finanční ztráty. Dalším nepříznivým vlivem je snížení teploty technologických zařízení a jejich následné ohřátí. Některá zařízení sekundárního okruhu, např. turbína, jsou navržena na určitý počet tepelných cyklů a neplánovaná odstávka snižuje jejich životnost. Chladnutí těsnících ploch může v budoucnu způsobit další netěsnosti.

- **Utěsnit za provozu.**

Tato metoda je většinou ekonomicky nejvýhodnější. Utěsnění za provozu zamezí dalšímu úniku média, do příští odstávky je možné naplánovat opravu, zajistit materiál a sjednat pracovníky.

Utěsnění úniků je účinné řešení, je však nutné je kombinovat s rutinní údržbou při odstávkách. Utěsnění úniků je obvykle pouze dočasné, při příští odstávce dochází k vyřezání daného úseku potrubí a nahrazení novým. V případě armatury se jedná o její přetěsnění nebo její výměnu [18].

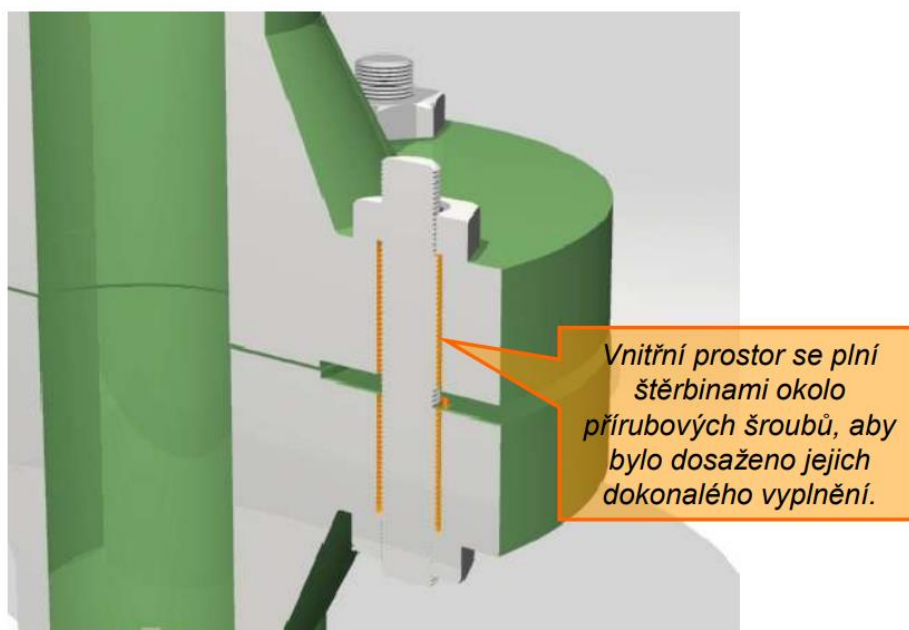
Metoda utěsnění za provozu používaná na sekundárním okruhu Jaderné elektrárny Dukovany se nazývá metoda „Furmanite“. Jedná se o metodu, při které dochází k dočasnému

utěsnění úniků páry vzduchu, plynů, kapalin a chemických produktů na zařízení pod plným provozním tlakem. Dochází k přímému nástřiku speciálních těsnících hmot skrze stěnu obklopující médium nebo skrze pomocné přípravky. Metoda „Furmanite“ je vhodná pro utěsňování přírubových spojů, ucpávek, pórů na potrubí a míst, kde dochází k erozní korozi. Utěsňovaná média jsou většinou pára, voda, vzduch, dusík a olej. Maximální provozní parametry, při kterých je tato metoda aplikovatelná, jsou tlak 32 MPa a teplota 550 °C [18].

2.2.1 Utěsňování přírubových spojů

V případě utěsňování přírubových spojů jsou používané dvě techniky. Nízkotlaká (NT) technika je běžně aplikovatelná do tlaku 4 MPa a vysokotlaká (VT) technika nad 4 MPa. NT technika se od VT techniky liší ve způsobu injektáže těsnícího média. Pro injektáž jsou použity otvory pro přírubové šrouby. Injektážní médium bývá reaktoplastický polymer, který po vytvrnutí vytvoří druhotné těsnění v mezipřírubové mezeře a zabraňuje dalšímu unikání média [18].

a) NT technika



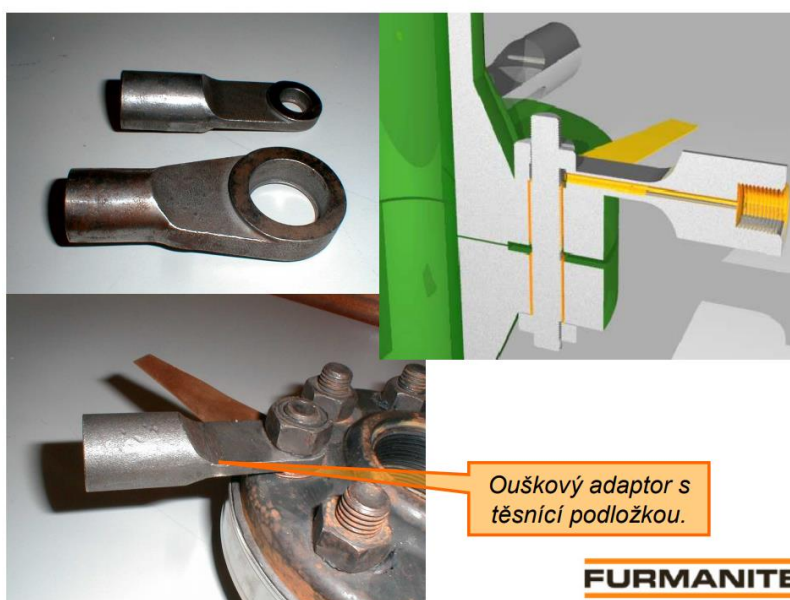
Obr. 2.8 Přírubový spoj [18]

Na obrázku je vidět přírubový spoj dvou potrubí, příruby jsou k sobě uchyceny pomocí šroubů a matic. Mezi přírubami může být vloženo těsnění, nebo jsou plochy dostatečně obrobené a těsní svým dotykem. V případě úniku jsou nejprve k přírubám připojeny injektážní adaptory. V praxi jsou používané tři typy, viz následující obrázky.



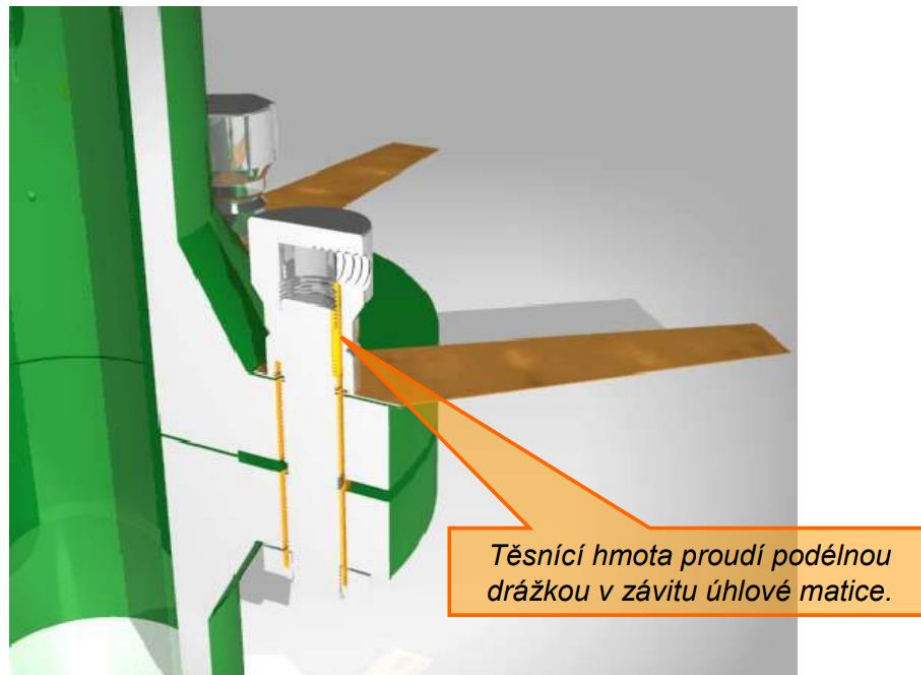
Obr. 2.9 Kroužkový adaptor [18]

Kroužkové adaptory jsou instalovány pod matice přírubových spojů. Po utěsnění se neodstraňují. Do otvoru na vnějším průměru kroužku je připojena injektážní souprava a je tudíž vedeno injektážní médium, které protéká štěrbinou kolem šroubů a vyplňuje prostor mezi oběma přírubami. Pokud nejsou šrouby dostatečně dlouhé, aby na ně bylo možné natočit matici i s kroužkovým adaptorem, je nutné je před aplikací vyměnit [18].



Obr. 2.10 Ouškový adaptor [18]

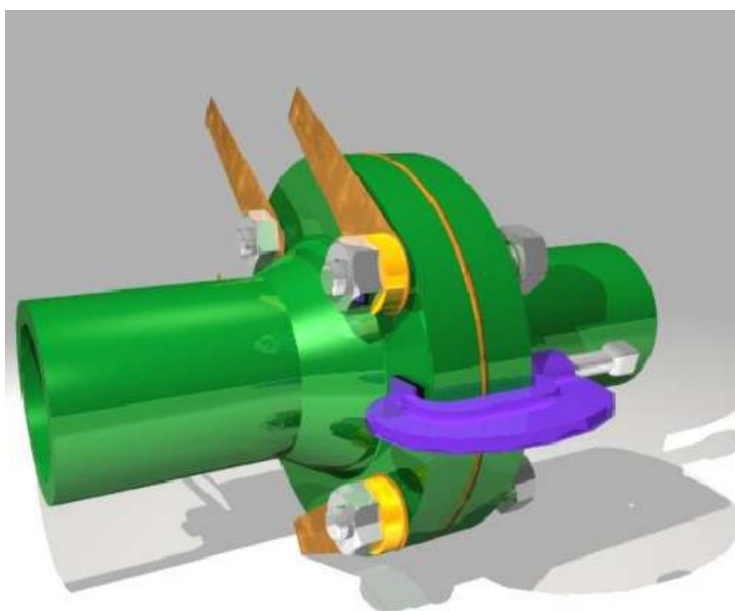
Podobně jako kroužkové adaptory, i ouškový adaptor je umístěn pod maticí. Po utěsnění se však obvykle demontují. Adaptor je možné ponechat tam, kde je nebezpečí dalšího úniku, aby bylo možné v budoucnu těsnící hmotu v případě potřeby doplnit [18].



Obr. 2.11 Úhlové matice [18]

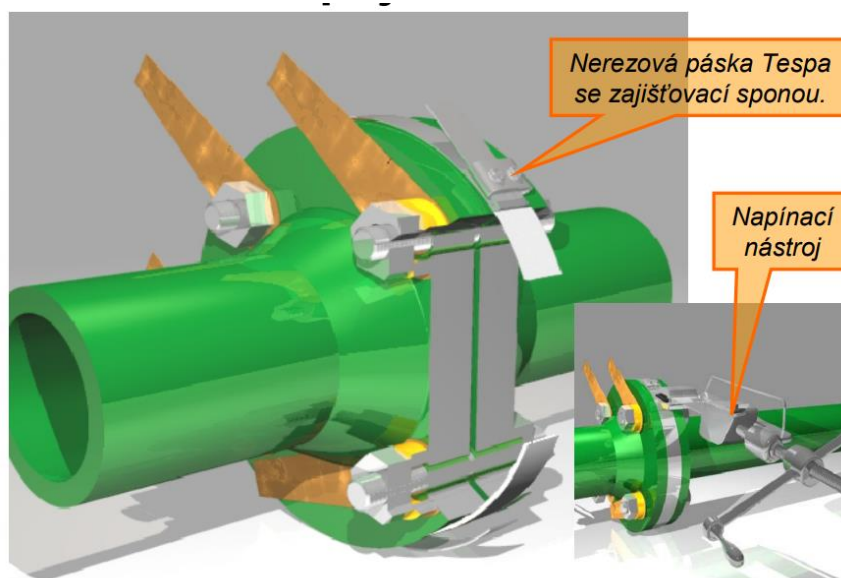
Úhlové matice na předchozím obrázku se instalují místo původních přírubových matic. Po injektáži bývají odstraněny a místo nich se vrátí původní matice. Injekční hmota proudí skrze drážku v závitu matice. V místech hrozícího úniku lze úhlové matice ponechat pro doplnění těsnící hmoty [18].

Pro instalaci injektážních adaptorů lze v některých případech použít i tzv. G-svěrky. Ty slouží k vyztužení přírubového spoje, např. pokud vyměněné šrouby nevyhovují bezpečnostním požadavkům, pokud jsou původní šrouby poškozené nebo nevyhovují svojí délkou. G-svěrky je možné na přírubovém spoji ponechat až do finální opravy při odstávce [18].



Obr. 2.12 G-svěrka [18]

V další fázi NT techniky dochází k instalaci obvodového těsnění. Je použita páska z nerezové oceli, která pomocí napínacího nástroje obepne přírubové těsnění v místě napojení. Místo pásky z nerezové oceli je někdy používána tzv. „impress packing“ páska, která po zahřátí změkne a je možné ji vtlačit do přírubové mezery [18]. Obvodové těsnění je názorně zobrazeno na následujícím obrázku.

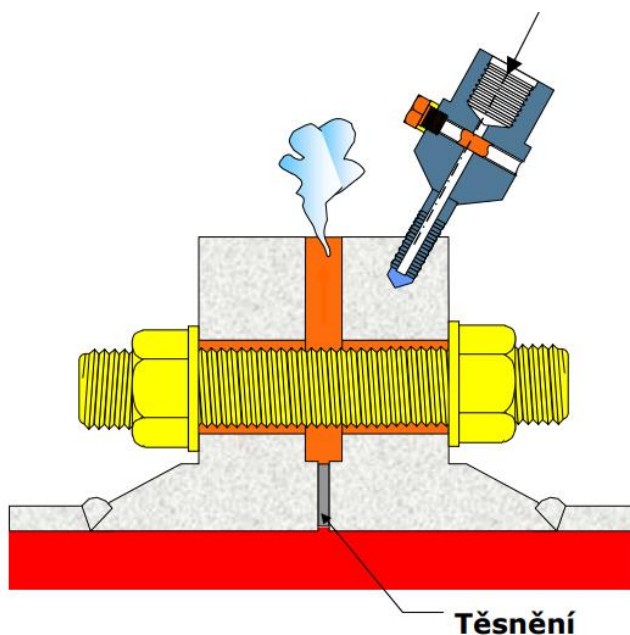


Obr. 2.13 Obvodové těsnění [18]

Po instalaci obvodového těsnění následuje samotné plnění injektážním těsnícím médiem. Po vytvrdnutí média následuje odstranění příslušných adaptérů a plánování samotné výměny přírubového spoje při příští odstávce [18].

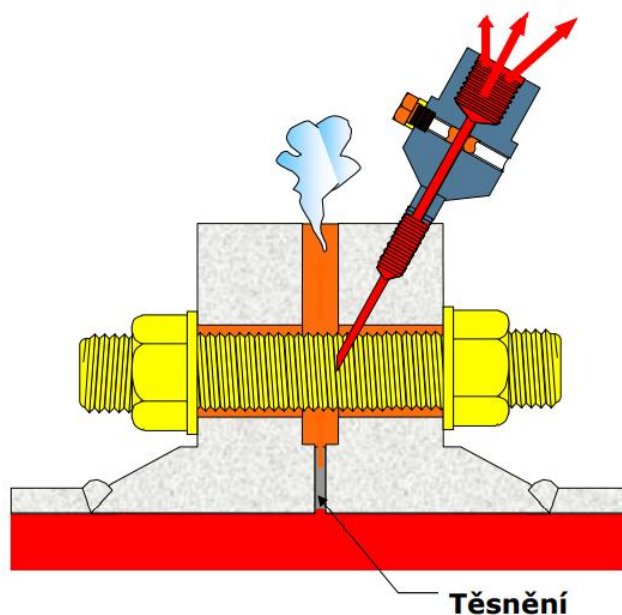
b) VT technika

Metoda VT utěsnění za provozu je použitelná při tlaku nad 4 MPa až do tlaku 32 MPa. Od NT metody se liší tím, že injektážní médium není vedeno mezerou mezi šroubem a přírubou, ale do příruby je vyvrtán injektážní otvor. Nejprve jsou do příruby vyvrtány slepé otvory, do kterých jsou vyřezány závity. Na závity se přišroubuje injektážní škrťací adaptor, který lze na rozdíl od NT adaptorů uzavřít [18].



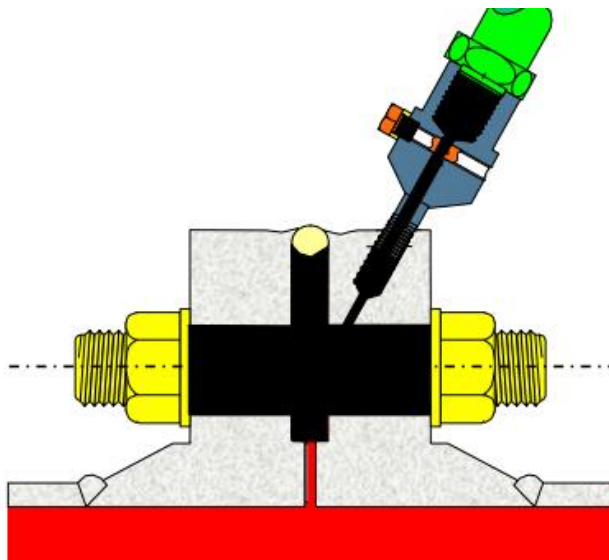
Obr. 2.14 Instalace VT adaptoru [18]

Následně jsou skrz adaptor vyvrtány injektážní otvory, vrtání probíhá až do mezery mezi šroubem a přírubou, viz následující obrázek.



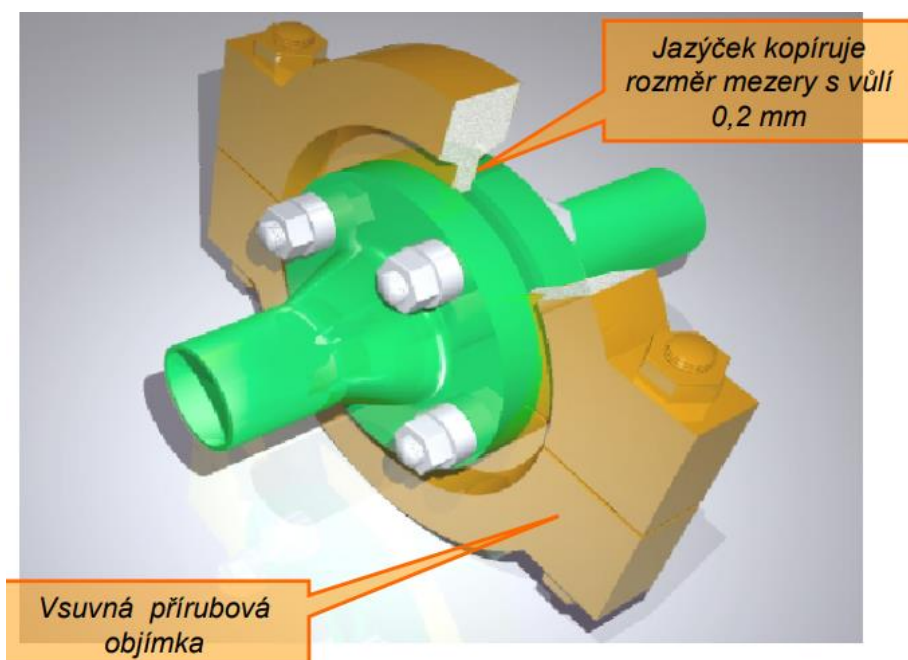
Obr. 2.15 Vrtání injektážních otvorů [18]

Po vyvrtání injektážních otvorů následuje instalace mosazného drátu. Ten se používá pro mezery do 10 mm a slouží jako obvodové těsnění. K zajištění polohy mosazného drátu jsou přírubové hrany roztemovány. Nesmí však dojít k přetížení přírubových šroubů. Následuje uzavření adaptoru, na který je připojena injektážní souprava. Po připojení injektážní soupravy je adaptér otevřen a dochází k plnění prostoru přírubového spoje injektážním médiem [18].

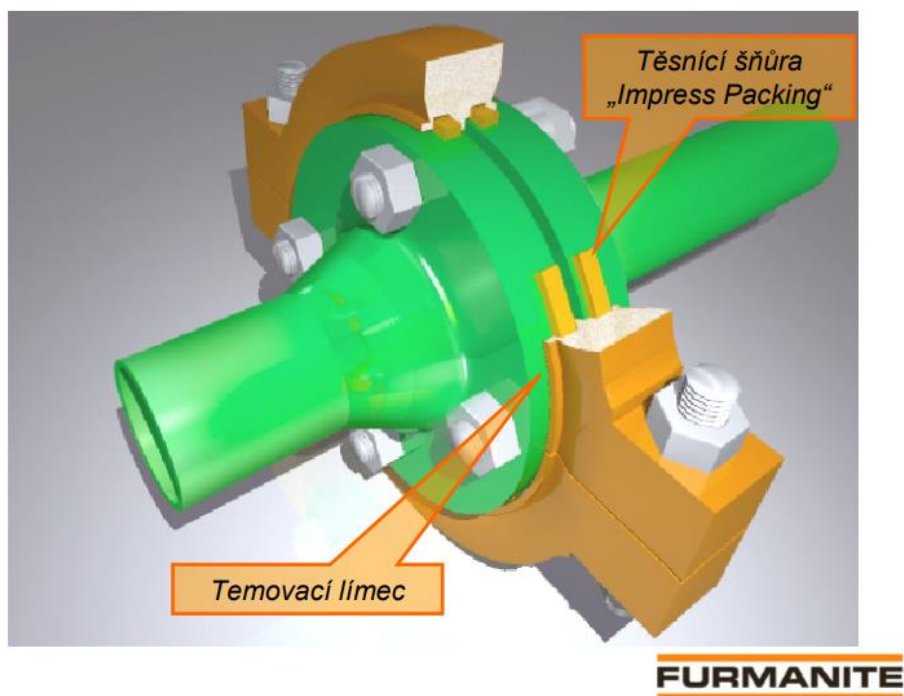


Obr. 2.16 Injektáž těsnící hmotou [18]

Pokud je mezera mezi přírubami velmi úzká, příruby jsou z křehkých materiálů nebo není možné na příruby připojit injektážní adaptéry, jsou u VT i NT techniky použity objímky. Existují dva typy, vsuvné objímky se temováním připojují k mezipřírubové mezeře. U svěrných objímek je těsnosti dosaženo přitlakem vloženého těsnění na boční plochy přírub. Vložená těsnění jsou napuštěna reaktoplastickou pryskyřicí, která vlivem tepla změkne a přizpůsobí se nerovnostem. V další fázi dojde k jejímu vytvrzení a stane se tak odolná vůči vytlačení z drážky. Objímky mohou být vyrobeny z příslušného materiálu, aby odpovídali danému zařízení, pracovní látce a jejím parametrům. Výhodou použití objímek je, že není potřeba vrtat otvory pro připojení adaptérů, které se připojují přímo do objímky. Nevýhodou jsou však vyšší plnicí tlaky a horší zatékání injektážní hmoty do přírubového spoje [18]. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny typy těsnících objímek.



Obr. 2.17 Vsuvná přírubová objímka [18]

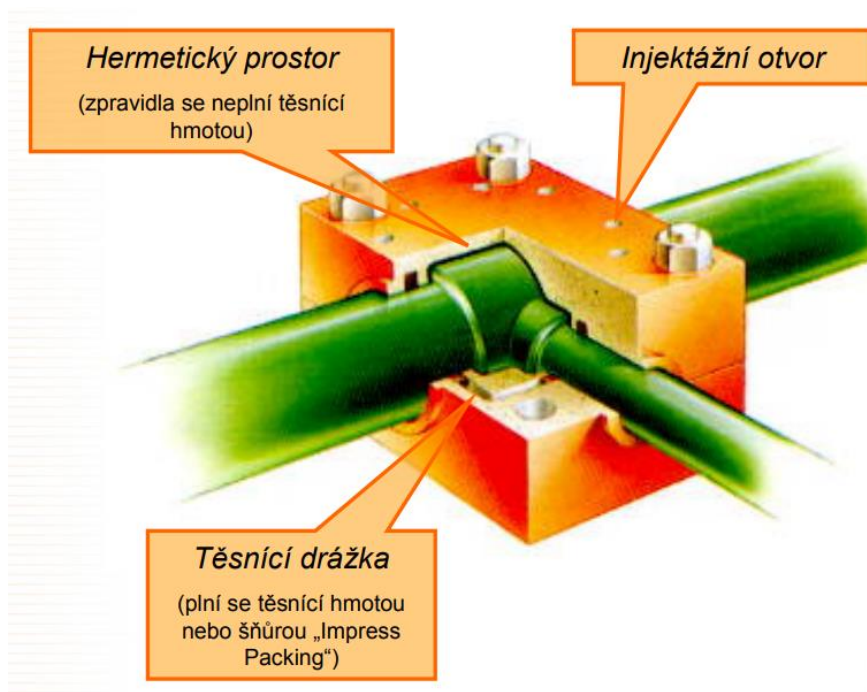


Obr. 2.18 Svěrná objímka s límcem a těsnícími drážkami [18]

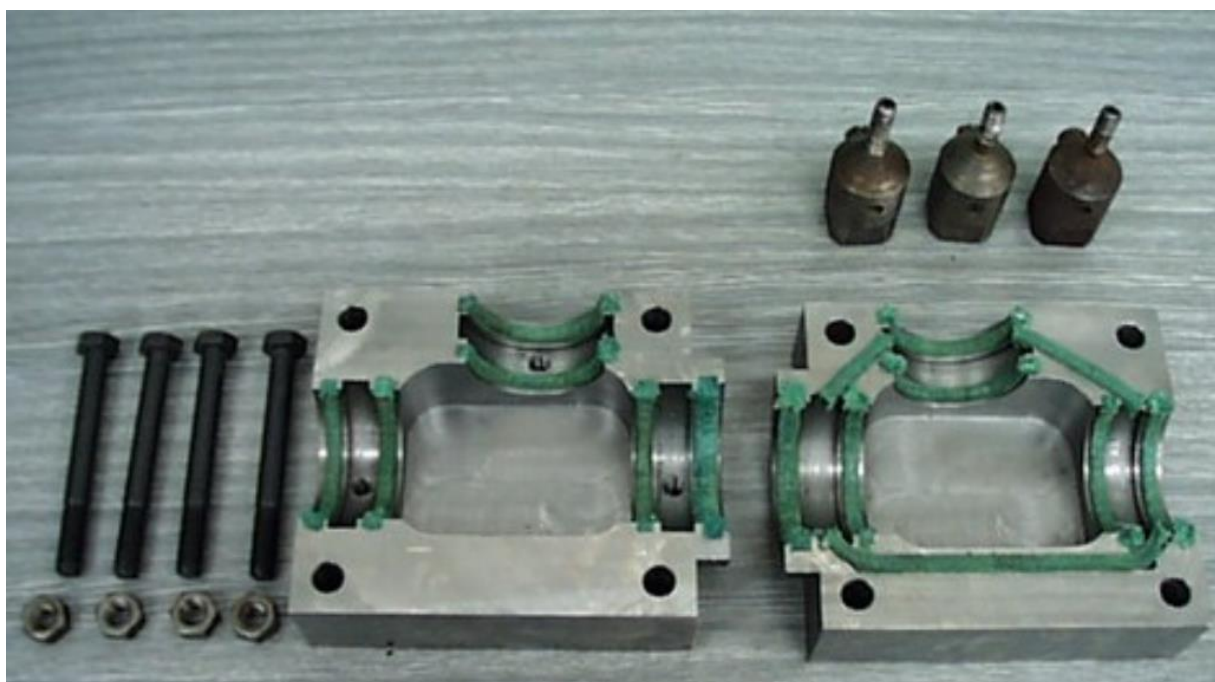
2.2.2 Utěšňování defektů na potrubí

Opravy materiálových defektů bývají technicky nejnáročnější. Nejprve je nutné dokonale zmapovat tvar poškozeného úseku potrubí a rozsah poškození. Následně je nutné vyrobit těsnicí přípravek, tzv. „box“. Box funguje na stejném principu jako objímka při utěšňování přírub, slouží k zapouzdření úniku. Samotný box se stává tlakovou nádobou, která musí pevnostně vyhovovat daným tlakům a teplotám a musí odpovídat normativním požadavkům. Další charakteristikou boxu je, že musí dostatečně tvarově kopírovat mnohdy složité povrchy v nepoškozených místech s přihlédnutím k rychlosti dalšího úbytku materiálu a termínu výměny. Box dále musí umožnit snadnou injektáž a v případě potřeby i snadné doplňování injektážní hmoty. Zároveň však je nepřípustné, aby těsnicí hmota vnikala do systému, nebo poškozovala a deformovala stěny potrubí svým tlakem. Je vhodné, aby byl box dostatečně jednoduchý a bylo možné ho vyrobit běžným strojním vybavením dodavatele (především při únicích, které mají vliv na ekonomičnost provozu je nutné co nejvíce zkrátit čas do případné opravy) [18].

Defekty v potrubí nejčastěji vznikají na vnějším oblouku kolen, v blízkosti svarů, odboček a v místech redukce průměru potrubí. Aby bylo možné zamezit vnikání těsnicí hmoty do systému, jsou boxy řešeny jako dvoudílné s jednou, dvěma nebo třemi drážkami. Těsnicí hmotou je vyplněna prostřední drážka, do vnitřní a vnější drážky je obvykle vkládáno těsnění (pokud jsou použity). Tím způsobem je defekt uvnitř vnitřního dílu boxu hermeticky uzavřen, ale není ve styku s těsnicí hmotou [18]. Metoda utěšnění defektů na potrubí je zobrazena na následujících obrázcích:



Obr. 2.19 Utěšňování defektů na potrubí [18]

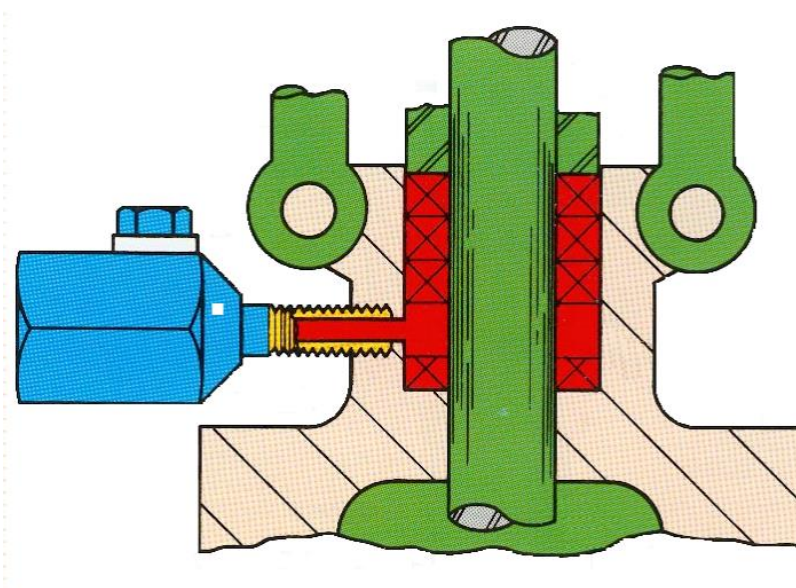


Obr. 2.20 Těsnící box [18]

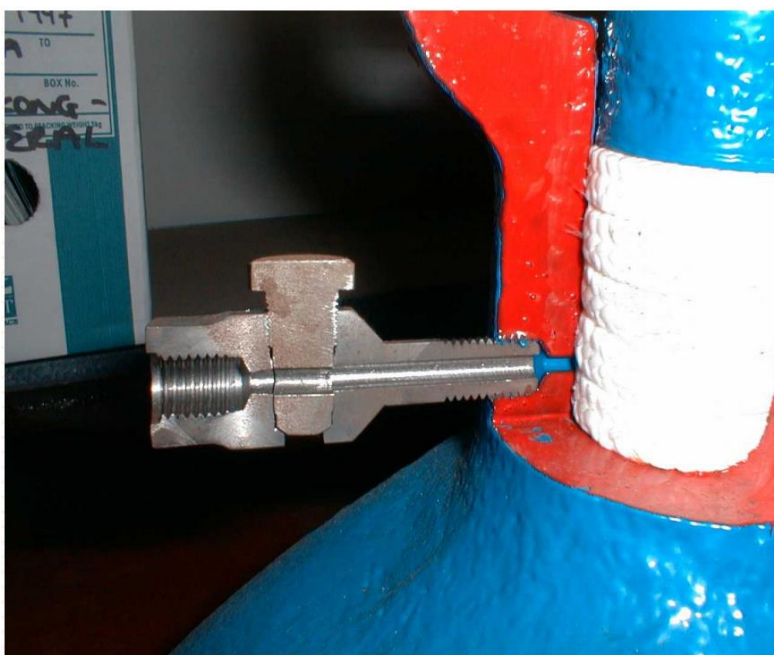
2.2.3 Utěšňování armatur

Armatury bývají častým zdrojem netěsností. Ucpávky armatur mohou být v důsledku chybného seřízení, opotřebení za provozu nebo degradace poškozeny. Dochází ke snížení jejich předpětí a propouštění média. Vlivem tlaku propouštění nabývá na intenzitě a může dojít i k náhlému výronu média a odplavení zbylého těsnění. K utěsnění těchto defektů se používá injektážní těsnicí hmota, která je vpravena do armatury skrze stěnu ucpávkové komory [18].

Při utěšňování armatury dochází nejprve k předvrtání slepého otvoru do spodní třetiny výšky tělesa komory. Následně je vyřezán závit do hloubky rovnající se průměru slepého otvoru a následně je na závit našroubován škrťací adaptor. Přes jeho otevřený uzávěr je do prostoru ucpávkového těsnění vyvrtán injektážní otvor a vpraveno těsnění, které je podobného složení jako původní těsnicí materiál. Často se jedná o netuhnoucí materiál na bázi grafitových vláken, těsnění umožňuje zachovat funkčnost armatury. Poté je adaptor uzavřen a ponechán na místě pro případ budoucího doplnění injektážní hmoty [18]. Názorná ukázka utěšňování armatur je na následujících obrázcích.



Obr. 2.21 Utěšňování ucpávek armatur [18]

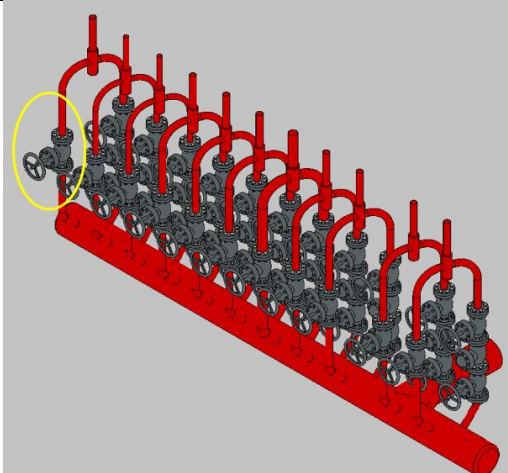


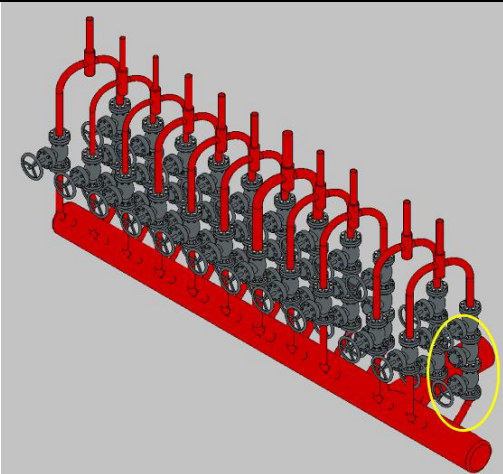
Obr. 2.22 Škrťací adaptor [18]

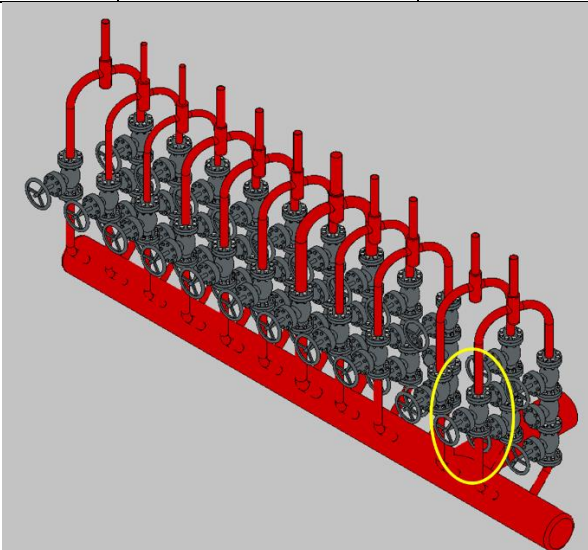
3 Zmapování provedených oprav

V rámci diplomové práce byly vyhledány již provedené opravy na kolektorech VT a NT odvodnění parní turbíny. Mapování bylo provedeno na druhém turbosoustrojí prvního bloku. Byl zmapován samotný kolektor NT a VT odvodnění a úseky (odbočky) k nejbližším armaturám. Záznamy o již provedených opravách jsou uloženy v archivu ve formě protokolu o konečné zkoušce. Dokument mimo jiné obsahuje seznam dokumentace, pracovní postup, plán kontrol a zkoušek, výkresovou dokumentaci, rozpisku materiálu, záznamový list o svarech, dokumenty definující jakost použitého a přídavného materiálu, záznam o nedestruktivních kontrolách, svařovací postupy, seznam svářečů, svářečího dozoru a kontrolních pracovníků atd. Na konci dokumentu se nachází úkol pracovního příkazu (úPP), který popisuje činnost pracovní skupiny vykonávanou na definovaném pracovním místě a při definovaném zajištění bezpečnosti. Pracovní skupina jej musí mít v papírové formě u sebe a nelze bez něj samotnou práci zahájit. Každá armatura v elektrárně má své specifické číslo, pod které je příslušný dokument zařazen. V případě, že defekt vznikne na úseku potrubí, záznam a příslušný dokument se přiřadí k číslu nejbližší armatury v technologickém systému. Pod každým číslem armatury je tedy uvedena její kompletní historie, tj. provedené opravy, periodická údržba (přetěsnění, vyčištění) a stav okolních potrubních systémů na armaturu navazujících. Následující podkapitoly obsahují tabulky s dohledanými údaji.

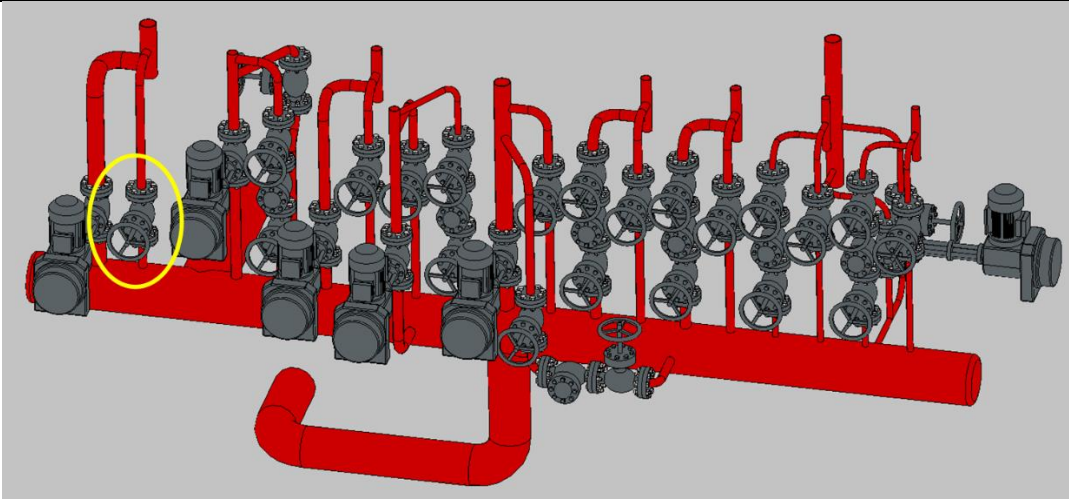
3.1 NT kolektor odvodnění

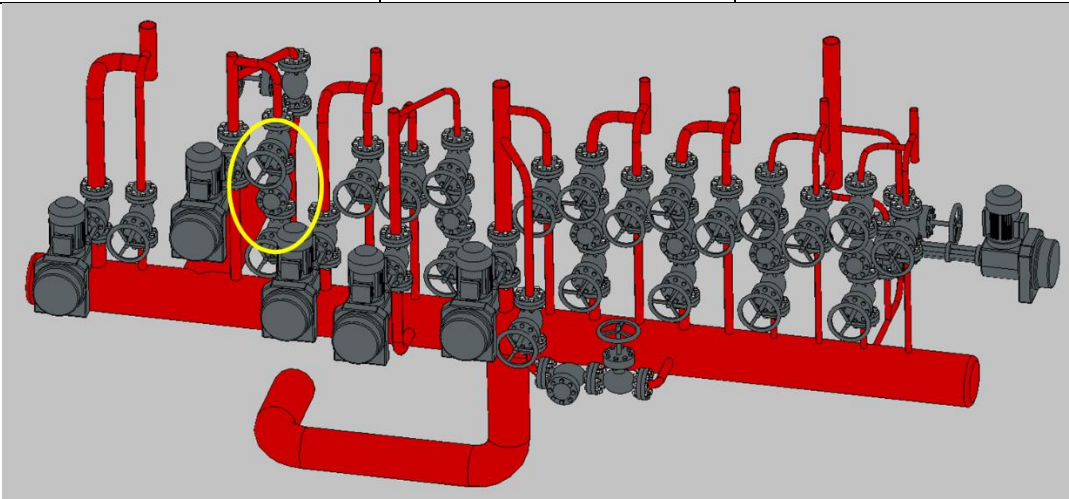
Číslo armatury	1.04.1.469.8	Parametry média	$t = 103\text{ }^{\circ}\text{C}$ $p = 0,116\text{ MPa}$
Umístění armatury			
Popis	Při říjnové odstávce v roce 2015 došlo k vyřezání původní ruční armatury a výměně za novou armaturu. Vyměněna byla i s částí potrubí z materiálu 12022.1 o délce 100 mm směrem ke kolektoru odvodnění.		

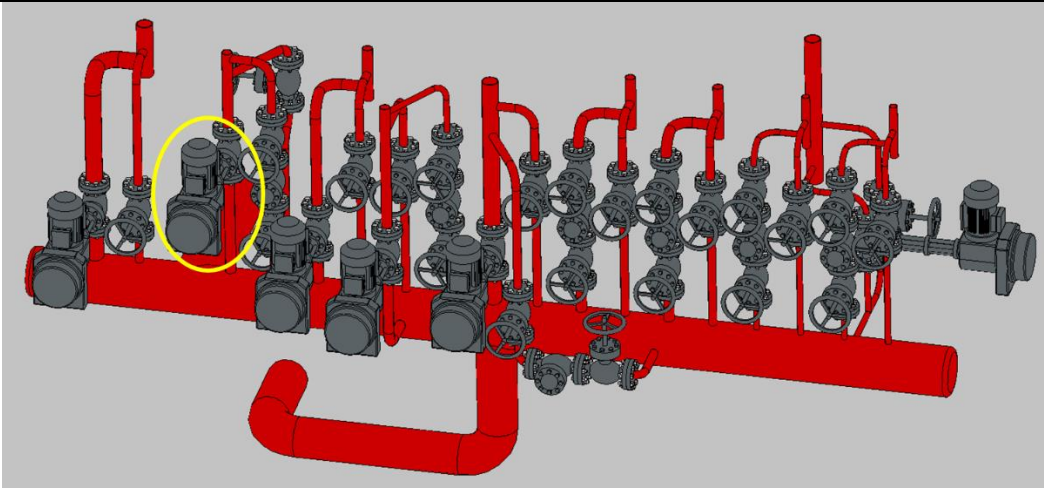
Číslo armatury	1.04.1.468.39	Parametry média	t = 166 °C p = 0,7 MPa
Umístění armatury			
Popis	Při říjnové odstávce v roce 2009 bylo vyměněno potrubí z materiálu 12022.1 pod baterií odvodnění směrem ke kolektoru odvodnění. Výměna byla provedena z důvodu pórů na potrubí, který byl předtím utěsněn metodou Furmanite. Na stejné armatuře bylo již dříve prováděno její utěsnění a výměna, v archivu se však nepodařilo dohledat příslušný dokument.		

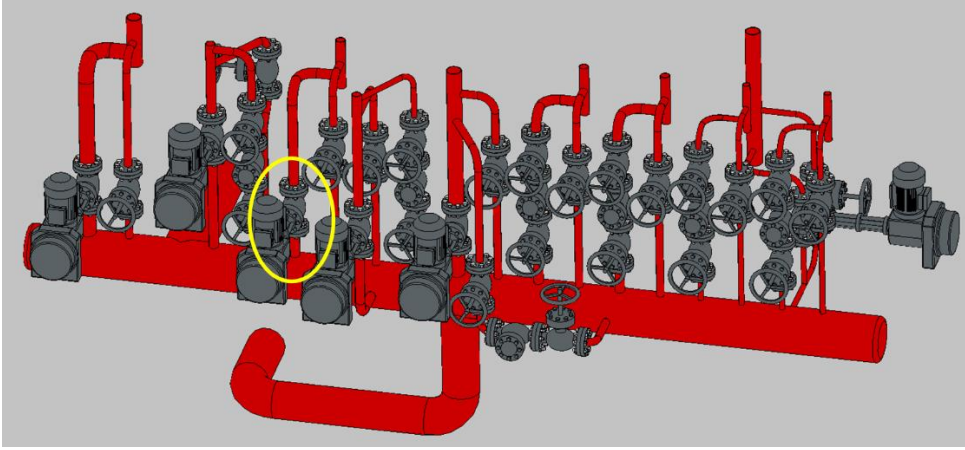
Číslo armatury	1.04.1.466.19	Parametry média	t = 166 °C p = 0,7 MPa
Umístění armatury			
Popis	Při listopadové odstávce v roce 2007 došlo k výměně potrubí z materiálu 12022.1 za ruční armaturou směrem ke kolektoru odvodnění. Výměna byla provedena z důvodu předchozí závady, kdy v koleně na potrubí vznikl pór a bylo provedeno jeho utěsnění metodou Furmanite.		

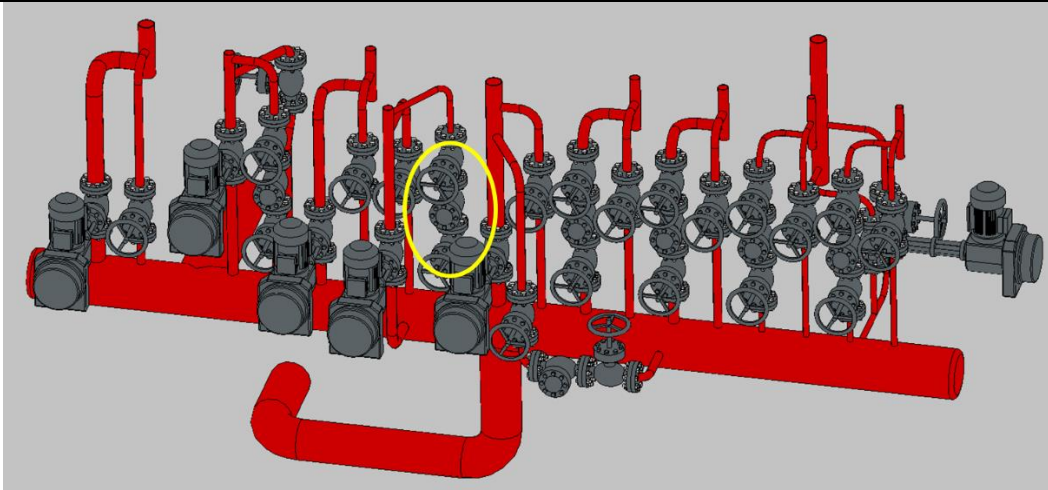
3.2 VT kolektor odvodnění

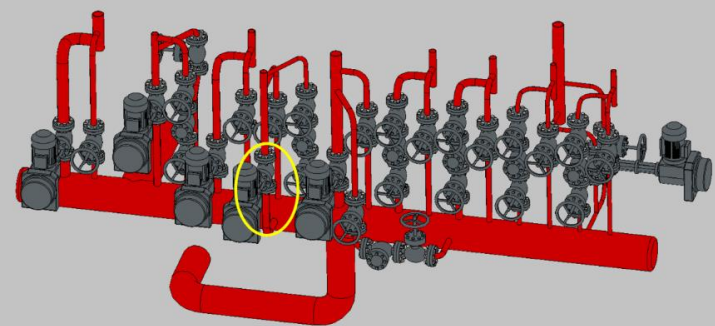
Číslo armatury	1.04.1.464.2	Parametry média	$t = 255\text{ °C}$ $p = 4,32\text{ MPa}$
Umístění armatury			
Popis	V tělese ruční armatury vznikl pór. Oprava byla pravděpodobně provedena při následující odstávce výměnou armatury. Bližší informace se nepodařilo dohledat.		

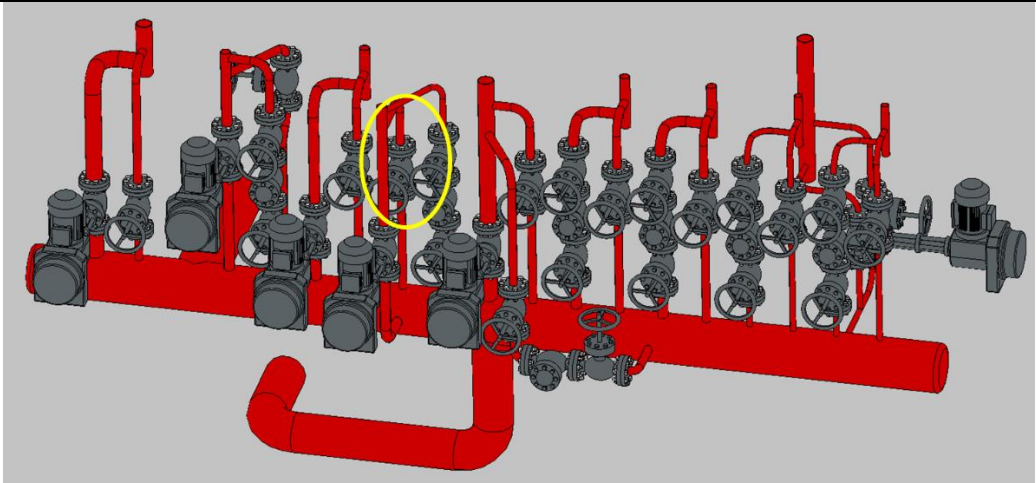
Číslo armatury	1.04.1.465.18	Parametry média	$t = 196\text{ °C}$ $p = 1,42\text{ MPa}$
Umístění armatury			
Popis	Na tomto úseku vznikl pór v tělese armatury a několik pórů ve svaru pod armaturou. Závada byla opět pravděpodobně již dříve vyřešena, v archivu se bližší informace dohledat nepodařilo.		

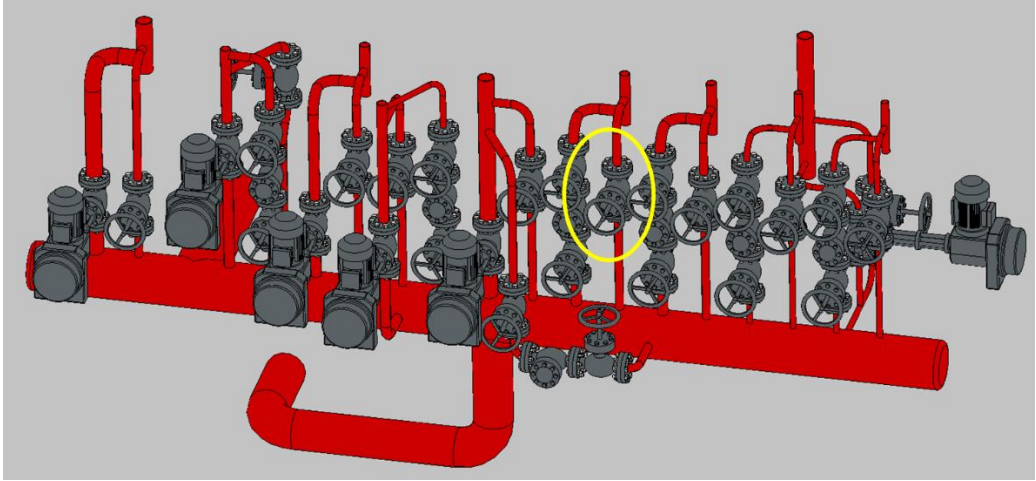
Číslo armatury	1.04.1.109.6	Parametry média	t = 196 °C p = 1,42 MPa
Umístění armatury			
Popis	Při říjnové odstávce v roce 2007 došlo k výměně části potrubí z materiálu 12022.1 pod hladinovým odvaděčem kondenzátu směrem k vysokotlakému kolektoru odvodnění. Potrubí bylo měněno z důvodu vzniklého póru. Zároveň bylo vyměněno těsnění pod přírubou k armatuře.		

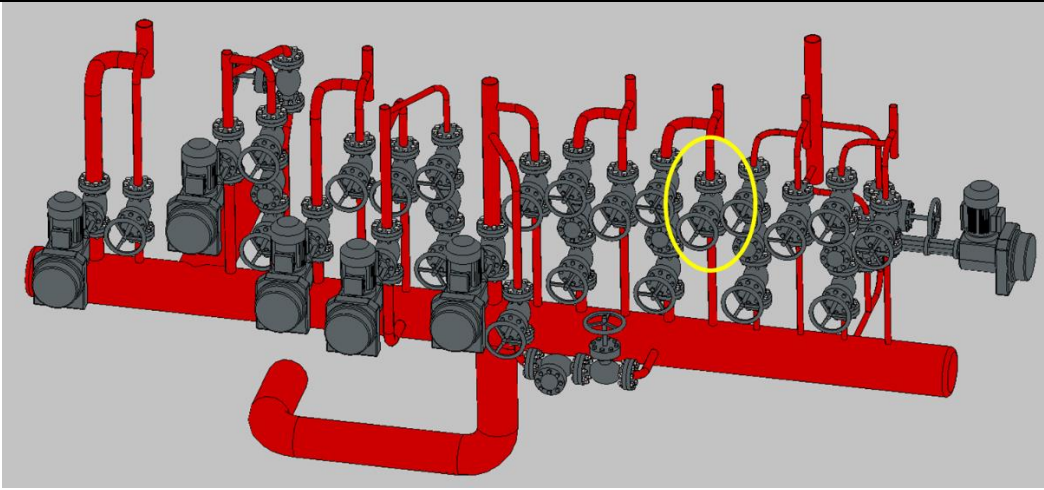
Číslo armatury	1.04.1.109.7	Parametry média	t = 232 °C p = 2,9 MPa
Umístění armatury			
Popis	V září 2009 došlo k výměně nátrubku pod hladinovým odvaděčem kondenzátu z důvodu netěsnosti. Netěsnost byla před opravou ošetřena metodou Furmanite. V roce 2020 došlo ke vzniku póru na spodní straně VT kolektoru odvodnění v místě pod přípojkou od odvaděče 1.04.1.109.7. Před listopadovou odstávkou v roce 2020 bylo potrubí pod odvaděčem kondenzátu a úsek kolektoru odvodnění ohraničena boxem a ošetřena metodou Furmanite.		

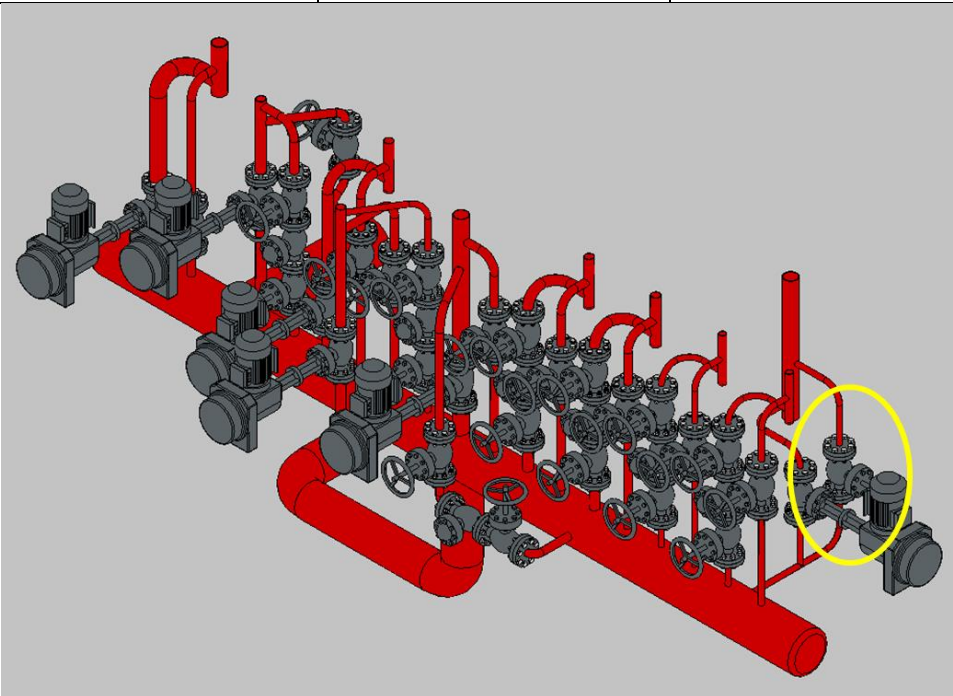
Číslo armatury	1.04.1.465.16	Parametry média	t = 181 °C p = 1,02 MPa
Umístění armatury			
Popis	V průběhu let byl na tomto úseku odvodnění řešen vzniklý pór pod ruční armaturou směrem ke kolektoru odvodnění. Následně byla řešena netěsnost v tělese samotné armatury, kdy došlo k jejímu utěsnění metodou Furmanite a k následné opravě. Dále byl vyměněn plovákový odvaděč kondenzátu z důvodu prasklého tělesa.		

Číslo armatury	1.04.1.109.5	Parametry média	t = 181 °C p = 1,02 MPa
Umístění armatury			
Popis	Při říjnové odstávce v roce 2006 došlo k výměně hladinového odvaděče kondenzátu s částí potrubí o délce 100 mm nad odvaděčem směrem k VI. odběru. Dále při říjnové odstávce v roce 2009 došlo k výměně části potrubí nacházejícího se nad horní přírubou hladinového odvaděče až k přípoji bypassové ruční armatury a baterie odvodnění plovákového odvaděče. V roce 2017 došlo k výměně části potrubí pod hladinovým odvaděčem až po napojení k odvodňovacímu kolektoru. V době provádění mapování současného stavu, tj. před listopadovou odstávkou v roce 2020 se na ohybu potrubí pod hladinovým odvaděčem kondenzátu směrem ke kolektoru odvodnění nacházel pór, na který byl nasazen box a utěsněn metodou Furmanite.		

Číslo armatury	1.04.1.465.6	Parametry média	t = 181 °C p = 1,02 MPa
Umístění armatury			
Popis	V září 2011 došlo k výměně části potrubí o délce 600 mm za ruční armaturou obtoku odvodnění VI. odběru směrem ke kolektoru odvodnění z důvodu póru na potrubí. V předchozích letech došlo k výměně samotné armatury, která byla ošetřena metodou Furmanite z důvodu její netěsnosti.		

Číslo armatury	1.04.1.466.12	Parametry média	t = 196 °C p = 1,42 MPa
Umístění armatury			
Popis	Na tomto úseku odvodnění došlo k netěsnosti na přírubě před armaturou směrem k VII. odběru. Příruba byla utěsněna metodou Furmanite a následně při odstávce přetěsněna.		

Číslo armatury	1.04.1.466.11	Parametry média	t = 232 °C p = 2,9 MPa
Umístění armatury			
Popis	Při říjnové odstávce v roce 2015 došlo k výměně části potrubí pod ruční armaturou směrem ke kolektoru odvodnění z důvodu póru ve svaru pod ruční armaturou. Potrubí z mat. 12022.1 bylo vyměněno až po napojení ke kolektoru odvodnění. V únoru 2017 bylo vyměněno stejné potrubí společně s ruční armaturou z důvodu netěsnosti v tělese armatury. Před samotnou výměnou byla armatura utěsněna metodou Furmanite.		

Číslo armatury	1.04.1.463.2	Parametry média	t = 255 °C p = 4,32 MPa
Umístění armatury			
Popis	V září 2019 došlo k výměně potrubí z materiálu 12022.1 společně s ruční armaturou obtoku hladinového odvaděče kondenzátu. Vyměněno bylo potrubí od napojení od přívodního potrubí k odvaděči až po úsek za kolenem pod ruční armaturou směrem ke kolektoru VT odvodnění.		

4 Analýza současného stavu a vyhodnocení

Zeslabování tloušťek stěn potrubí a tlakových nádob, které je způsobeno především erozní korozí a FAC, viz. kapitola č. 2, způsobilo již v minulosti několik problémů. Například v jaderné elektrárně Surry v roce 1986 vedlo zeslabení tloušťky stěny k prasknutí kolene na potrubí vedoucí kondenzát k napájecímu čerpadlu. Dalšími příklady mohou být elektrárna Pleasant Prairie (1995) nebo Mihamská jaderná elektrárna (2004). V současné době jsou na provozovaných elektrárnách praktikovány postupy, které mají přilísnému zeslabování tloušťek stěn zamezit, popř. zeslabení predikovat a poškozená zařízení včas opravovat nebo vyměňovat. Tyto postupy sestávají zejména z měření tloušťek stěn pomocí ultrazvukové metody v předdefinovaných bodech rozmístěných na potrubí. Při následujících odstávkách jsou měření opakována, následně jsou naměřená data porovnávána mezi sebou a z postupného úbytku materiálu stěny potrubních systémů je odhadována životnost daného zařízení. [25]

Z důvodu zjištění současného stavu potrubí odvodnění v JE Dukovany bylo rozhodnuto, že při listopadové odstávce v roce 2020 bude změřena stávající tloušťka stěn odvodňovacích kolektorů VT a NT odvodnění turbogenerátoru prvního bloku. Společně s odvodňovacími kolektory byly změřeny navazující přípoje až k nejbližším armaturám nacházejících se před odvodňovacím kolektorem. V tomto úseku protéká kondenzát, popř. parovodní směs periodicky, dochází tedy k tepelnému cyklickému a eroznímu namáhání materiálu potrubních stěn a tento úsek byl z hlediska četnosti vzniklých vad nejkritičtější.

Měření probíhalo za účasti techniků z ÚJV Řež, a.s. Pohled na zaizolovaný VT kolektor odvodnění je na následujícím obrázku.



Obr. 4.1 Pohled na VT kolektor

Měření bylo provedeno pomocí ultrazvukového měřiče tloušťek stěn USM Go+ vyráběný společností GE Inspection Technologies. Některé parametry měřiče jsou v následující tabulce [19].

Kalibrační rozsah	0,4 – 160 mm
Odchylka měření	$\pm 0,1$ mm
Rozměry a hmotnost	175x111x50, 0,85 kg včetně akumulátoru
Výstupy	USB, SD karta, dva monitory
Displej	Barevný, širokoúhlý TFT, 800x480 pixelů
Vnitřní paměť	2 GB rozšiřitelná pomocí SD karet

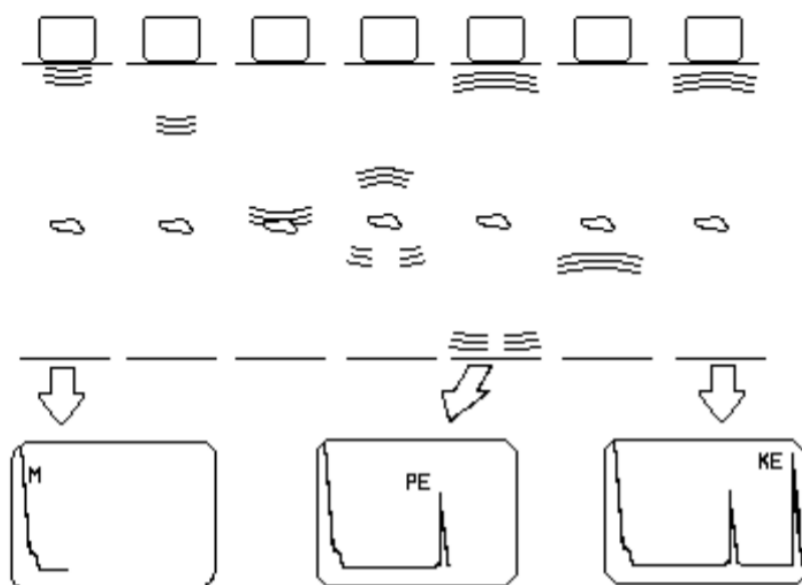
Tab. č. 4 Parametry USM GO+

Měření tloušťky stěn pomocí ultrazvuku spočívá ve využití vlnění, jehož frekvence je vyšší než 20 kHz. Lze dosáhnout přesnosti až 0,002 mm. Ultrazvukové tloušťkoměry jsou obvykle malé, lehké a spolehlivé, lze je unést a ovládat jednou rukou. Využívají sondy s piezoelektrickými měřiči, které pracují na frekvencích 0,5 až 20 MHz. Nižší frekvence jsou vhodné pro měření silnostěnných materiálů a pro měření materiálů s velkým útlumem. Naopak vyšší frekvence je vhodné použít pro tenkostěnné materiály [20].

Princip měření ultrazvukem využívá vlastnosti zvukového vlnění, které se v kapalinách a plynech šíří pomaleji než v pevných látkách. Ultrazvuk dopadá na přechod dvou materiálů a odráží se zpět. Na základě časového intervalu, který uplyne mezi odesláním signálu a přijetím signálu a velikosti rychlosti šíření zvukových vln v konkrétním materiálu lze určit vzdálenost, kterou ultrazvuková vlna urazila (v daném případě tedy tloušťku stěny potrubí). Ultrazvukem lze vyhledávat i skryté materiálové vady, neboť k odrazu dochází i od dutin nebo cizích příměsí. Při měření tlouštěk ultrazvukem se využívají následující metody [20]:

- **Impulsová odrazová metoda**

Metoda vychází, ze znalosti rychlosti šíření ultrazvukové vlny v měřeném prostředí. Doba průchodu je tedy přímo úměrná měřené tloušťce. Úsek na časové základně mezi počátkem a prvním odrazem ultrazvukového svazku od protilehlé stěny měřené strany tedy odpovídá její tloušťce. Princip této metody je patrný z následujícího obrázku:



Obr. 4.2 Impulsová odrazová metoda [20]

- **Metoda vícenásobných ech**

Ultrazvukový impuls prochází po každém odrazu materiálem tam a zpět, dokud není zcela utlumen. Každý jeho odraz je přístrojem zaznamenán jako samostatné echo. Lze tedy vzniklá násobná echa, která odpovídají násobkům tloušťky stěny, využít k přesnějšímu určení skutečné tloušťky tím způsobem, že vzdálenost některého násobného echa vydělíme počtem ech obsažených v této hodnotě. V případě této metody lze zjistit rozdíly menší než 0,1 mm.

- **Srovnávací metoda**

Slouží pro porovnání dvou stejných nebo násobných tloušťek materiálů. Lze využít i známého etalonu s měřenou tloušťkou. Jedinou podmínkou musí být stejné akustické vlastnosti obou měřených materiálů. Tato metoda většinou neodečítá rozdíl hodnot v mm, ale slouží ke zjištění, zda je měřený rozměr větší nebo menší než rozměr etalonu nebo druhého materiálu. Tato metoda většinou slouží ke kontrole většího počtu výrobků a k vyhledávání případných zmetků. Při použití této metody je porovnáváno echo měřeného materiálu a echo měřené tloušťky etalonu nebo druhého materiálu a nezáleží na počátečním echu. Pokud jsou oba rozměry stejné nebo jsou v požadovaném poměru, echa se kryjí.

- **Metoda měrného impulsu**

Tato metoda využívá místo impulsu od ultrazvukové sondy elektrický impuls. Ultrazvukové přístroje musí být vybaveny dalšími pomocnými obvody a doplňkovými zařízeními, které jsou schopny elektrický impuls vytvořit. Princip je podobný jako u srovnávací metody, u metody měrného impulsu je možné odečítat rozdíly přímo v milimetrech.

- **Rezonanční metoda**

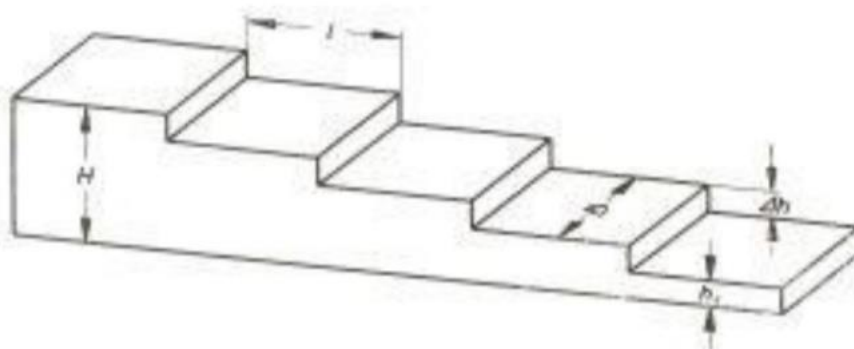
Pokud se tloušťka měřeného materiálu rovná násobku poloviční délky ultrazvukové vlny, může dojít k rezonanci. Rezonance vzniká na základní nebo na kterékoli vyšší harmonické frekvenci. Při měření tloušťek stěn rezonanční metodou se porovnávací frekvence ladí na opakovací frekvence vícenásobných ech. Pokud dojde k rezonanci, je tato hodnota zobrazena na displeji měřicího zařízení a bývá přepočítávána na milimetry. Tato metoda je vhodná pro měření velmi malých tloušťek stěn.

Před samotným měřením je potřeba z povrchu materiálu odstranit mechanické nečistoty, okuje, popř. nátery. Proto bylo nutné na samotném zařízení nejprve úhlovou brusku obrousit po obvodu několik měřících míst, velikost obroušené plochy byla cca 30 x 30 mm, viz následující obrázek.



Obr. 4.3 Obroušená měřicí místa

Dále bylo nutné měřicí přístroj kalibrovat. Kalibrace nulového bodu ultrazvukové sondy se provádí na kalibrační měrce. Pro ověření správného nastavení ultrazvukové sondy se používají tzv. referenční měrky. Ty jsou vyrobeny z měřeného materiálu a jsou zobrazeny na následujícím obrázku:



Obr. 4.4 Referenční stupňovitá měrka [20]

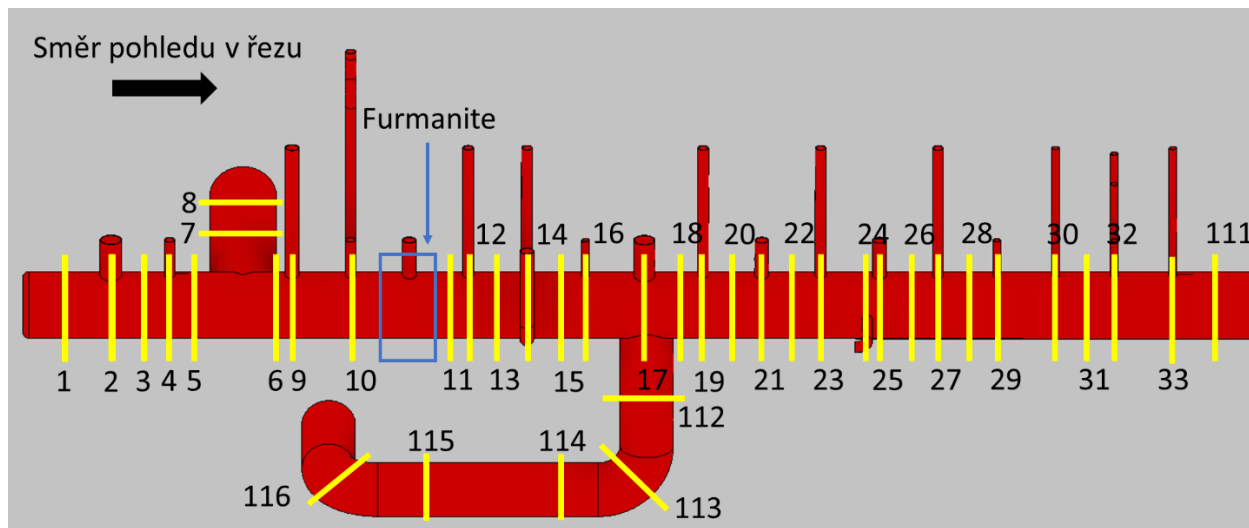
Referenční měrka se skládá z několika plošek, pod kterými je různá tloušťka materiálu. Tloušťky na referenční měrce by měly nejlépe pokrývat celý rozsah předpokládaných tloušťek měřeného materiálu.

Po kalibraci je na připravený povrch a sondu nanесena vazební pasta, která zabezpečí dobré šíření ultrazvukových vln mezi sondou a měřeným materiálem. Následně je sonda přiložena k připravenému povrchu a naměřené hodnoty jsou přímo odečítány na displeji měřiče.

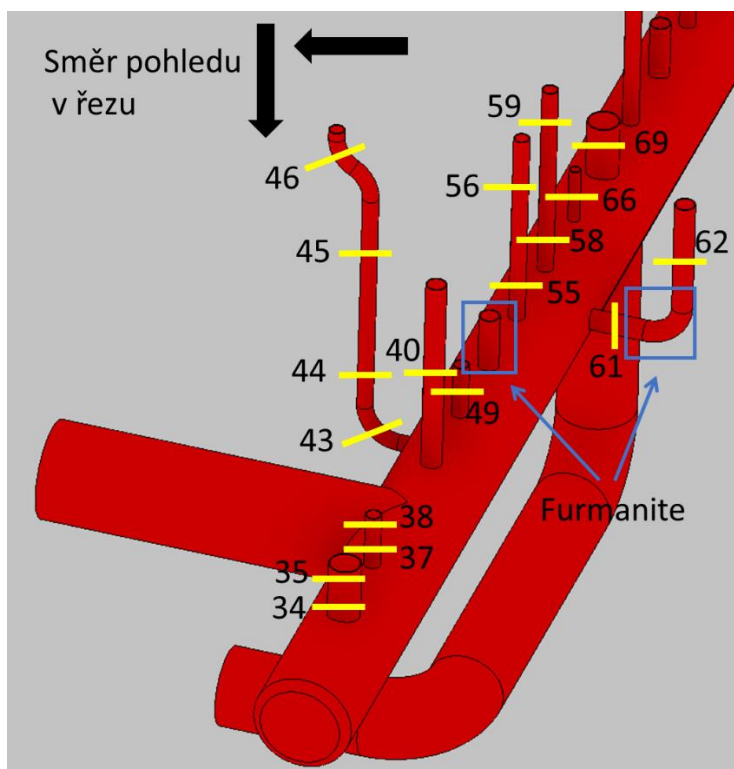
V následujících podkapitolách jsou uvedeny naměřené hodnoty z měření.

4.1 VT odvodňovací kolektor

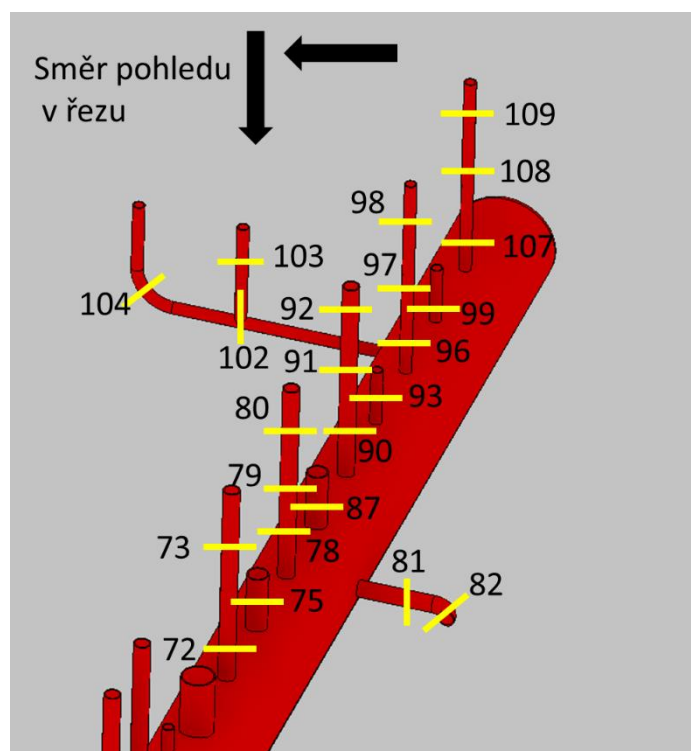
Při listopadové odstávce v roce 2020 byly změřeny tloušťky stěn na VT odvodňovacím kolektoru druhého turbosoustrojí prvního bloku. Schéma rozmístění měřicích míst je následující.



Obr. 4.5 Schéma měřicích míst VT kolektoru



Obr. 4.6 Schéma měřicích míst VT kolektoru - odbočky



Obr. 4.7 Schéma měřicích míst VT kolektoru – odbočky

Na každém odběrném místě bylo po obvodu potrubí vybroušeno několik plošek, na kterých bylo provedeno samotné měření tloušťky stěn. V místech, kde se nacházel utěšňovací box metody Furmanite měření nešlo provést. V následující tabulce je uveden přehled nejmenších naměřených tloušťek potrubí v měřicích bodech. V tabulce je také zobrazena poloha plošky, na které byla nejmenší tloušťka stěny naměřena. Orientace pohledů v řezech je znázorněna na předchozích obrázcích.

Bod	Tloušťka stěny [mm]	Poloha nejmenší naměřené tloušťky	Bod	Tloušťka stěny [mm]	Poloha nejmenší naměřené tloušťky
1	5,3		45	2,6	
2	5,4		46	1,9	
3	5,4		49	3	
4	4,9		55	2,3	
5	4,3		56	3,6	
6	4,6		58	2,8	

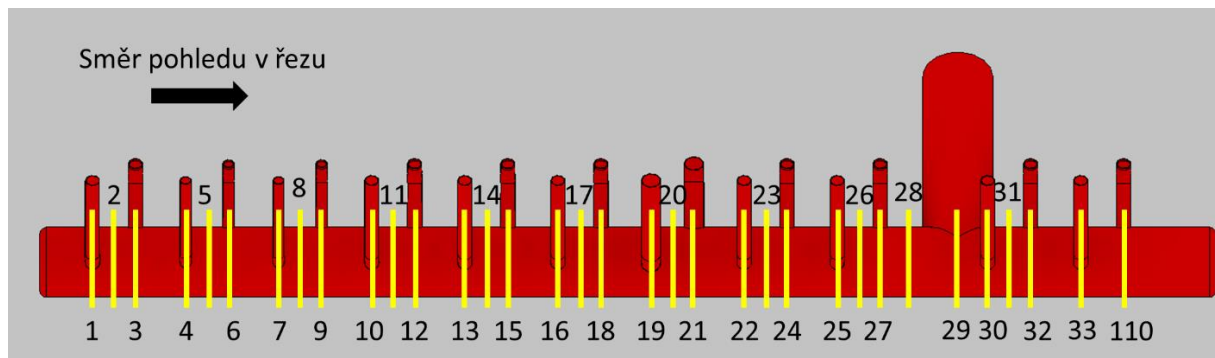
7	4,5		59	2,4	
8	4,9		61	3	
9	4,9		62	3,5	
10	4,7		66	2,5	
11	4,2		69	2,5	
12	3,5		72	3	
13	6,2		73	3,3	
14	6,4		75	10,4	
15	6,4		78	2,4	
16	5,1		79	2,2	
17	3,2		80	2,3	
18	4,5		81	2,7	
19	5,9		82	2,1	
20	5,5		87	11,5	
21	4,3		90	2,9	
22	5,2		91	3,5	
23	5,2		92	3,5	
24	5		93	8,4	
25	4,9		96	2,1	
26	5		97	2	
27	5,3		98	2,1	

28	5,6		99	7,5	
29	5,8		102	2,9	
30	5,6		103	3,2	
31	5		104	3	
32	5,1		107	3	
33	4,8		108	3	
34	5,7		109	3,1	
35	5,9		111	6,2	
37	2,9		112	4	
38	2,7		113	4	
40	4,7		114	4	
43	1,8		115	4,6	
44	2,6		116	4	

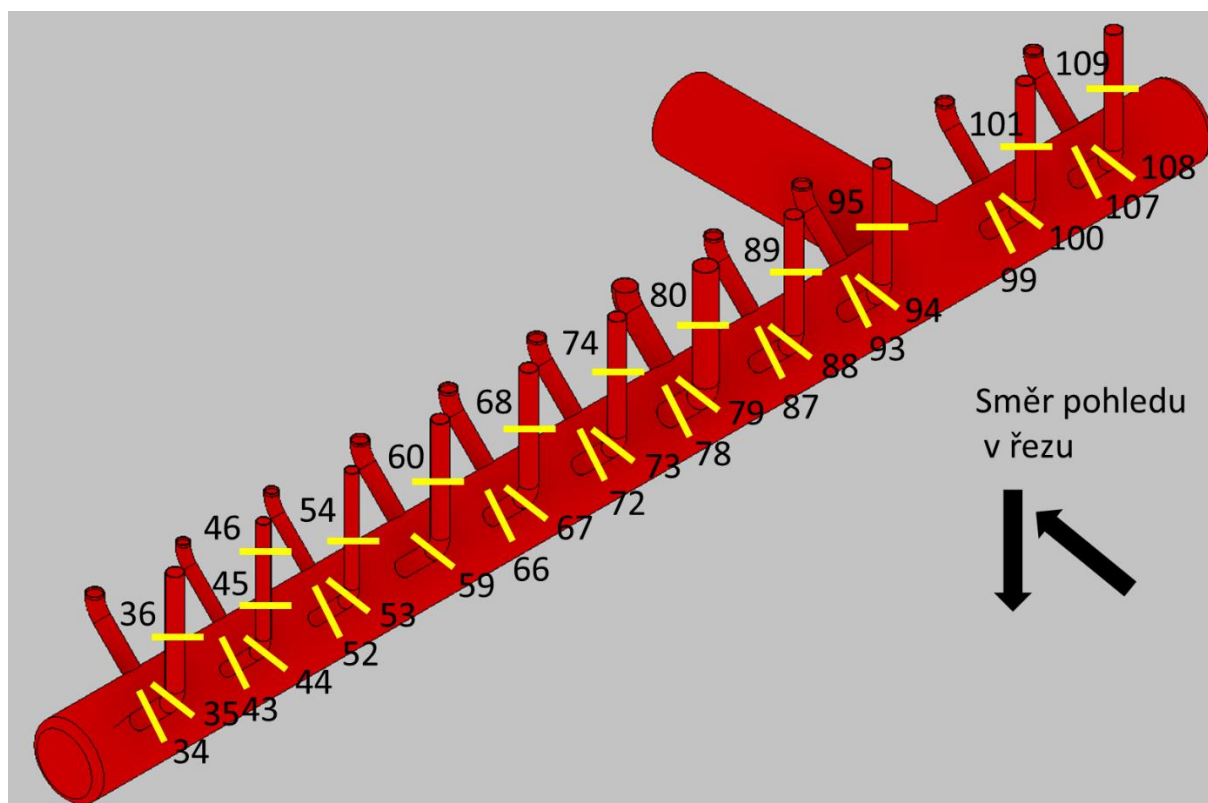
Tab. č. 5 VT kolektor naměřené hodnoty

4.2 NT kolektor odvodnění

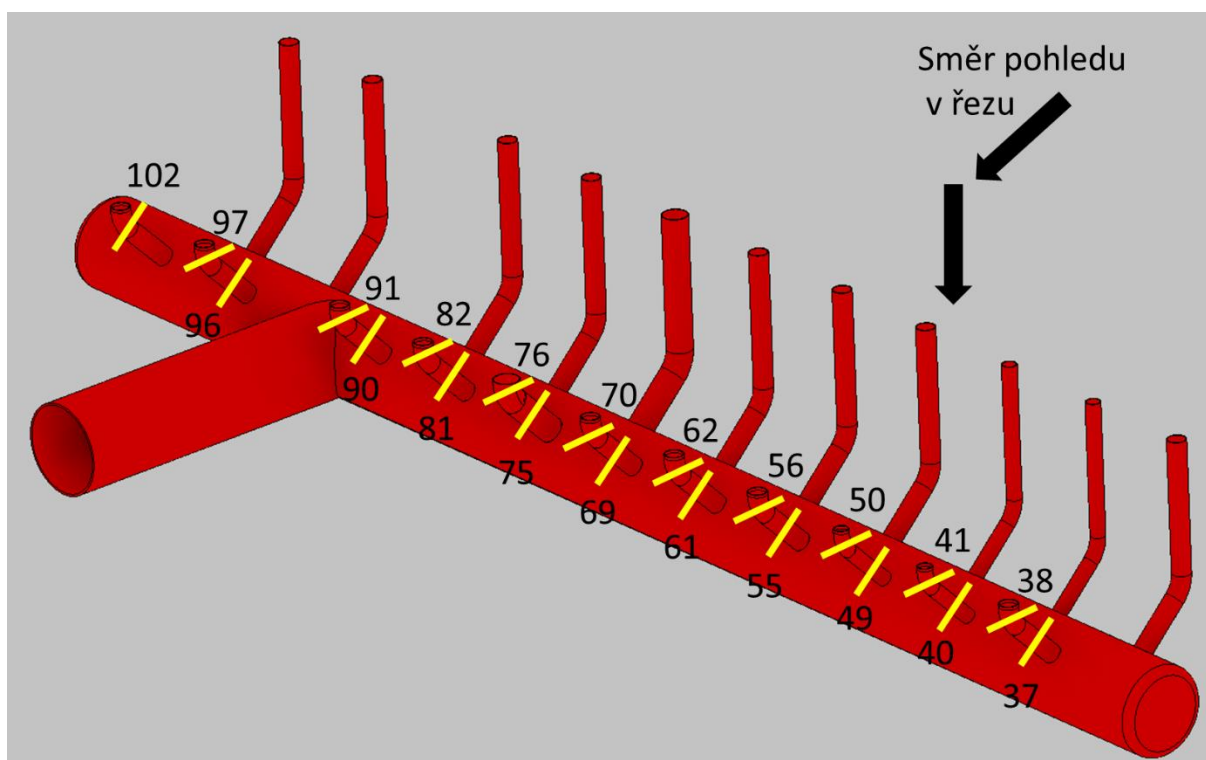
Stejně jako v případě VT kolektoru odvodnění, bylo během listopadové odstávky v roce 2020 provedeno změření tloušťek stěn i u NT kolektoru odvodnění. Schéma měřících míst na kolektoru a odbočkách k armaturám je zobrazeno na následujících obrázcích.



Obr. 4.8 Schéma měřících míst NT kolektoru



Obr. 4.9 Schéma měřících míst NT kolektoru – odbočky



Obr. 4.10 Schéma měřících míst NT kolektoru - odbočky

V následující tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty tloušťek stěn NT kolektoru v příslušných odběrových místech. Poloha plošky, pod kterou byla nejmenší tloušťka naměřena je v tabulce znázorněna, poloha a orientace řezu je patrná z předchozích obrázků.

Bod	Tloušťka stěny [mm]	Poloha nejmenší naměřené tloušťky	Bod	Tloušťka stěny [mm]	Poloha nejmenší naměřené tloušťky
1	6,3		49	7,1	
2	6,7		50	2,9	
3	6,4		52	1,7	
4	6,9		53	1,4	
5	6,6		54	1,8	
6	6,5		55	1	
7	6,1		56	0,8	

8	7,1		59	2,3	
9	6,9		60	2,6	
10	5,8		61	2,7	
11	6,4		62	2,4	
12	6,6		66	2,5	
13	6,3		67	2	
14	5,5		68	2,7	
15	6,6		69	2,8	
16	6,3		70	2,6	
17	6,5		72	2,6	
18	6,6		73	2,4	
19	5,9		74	2,5	
20	5,6		75	11,9	
21	6,3		76	2,4	
22	6,8		78	2	
23	6,1		79	2,1	
24	7,3		80	2,3	
25	6,3		81	9,5	
26	6,7		82	2,1	
27	7,6		87	2,5	
28	6,8		88	2,6	

29	6,3		89	2,7	
30	6		90	12	
31	6,5		91	2,9	
32	5,8		93	2,5	
33	6,3		94	2,6	
34	2,3		95	2,6	
35	2,1		96	11,9	
36	2,2		97	2,7	
37	6,5		99	1,8	
38	2,5		100	2	
40	5,3		101	2,3	
41	2,3		102	5,5	
43	2,2		107	8,5	
44	1,8		108	8,3	
45	2,2		109	8,4	
46	2,3		110	5,5	

Tab. č. 6 NT kolektor naměřené hodnoty

4.3 Vyhodnocení

K identifikace nebezpečných míst je nutné vypočítat minimální tloušťku stěny potrubí zatíženého vnitřním tlakem dle platné normy ČSN EN 13480-3. Sledované části potrubí, tj. NT a VT kolektor společně s přivařenými odbočkami k nejbližším armaturám jsou vyrobeny z oceli třídy 12. Přesné označení je 12 022.1. Jedná se o třídu ušlechtilých uhlíkových ocelí, u kterých je zaručeno jejich chemické složení a nejsou legované [21]. Dají se rozdělit do následujících skupin:

- oceli s odstupňovanou pevností (v zušlechtěném stavu)
- oceli k tažení za studena
- oceli s nízkým obsahem uhlíku určené k cementování
- žárovevné oceli
- pružinové oceli
- oceli pro nosná lana

Konkrétně daná ocel 12 022 patří dle [21] do skupiny ocelí žárovevných. Obsah uhlíku C se pohybuje mezi 0,15 až 0,22 %, manganu Mn mezi 0,5 až 0,6 %, síry S mezi 0,17 až 0,37 % a obsah chromu Cr je max. 0,25 %. Ocel 12 022.1 je před použitím normalizačně žíhaná. Nejnižší mez kluzu pro tloušťky stěn do 12 mm je dle [21] uvedena v následující tabulce:

Teplota [°C]	20	100	200	250
Re [MPa]	255	245	225	205

Tab. č. 7 Mez kluzu 12 022

Pro trubky s tloušťkou stěny do 3 mm a průměru do 30 mm platí následující tabulka:

Teplota [°C]	20	100	200	250
Re [MPa]	235	225	205	185

Tab. č. 8 Mez pevnosti 12 022

Mez pevnosti Rm se pohybuje mezi 440 až 570 MPa. Minimální tažnost oceli je 21 % a tvrdost dle Brinella maximálně 175 HB.

Samotný výpočet požadované minimální tloušťky stěny pro přímé trubky bez přídavek a mezních úchylek se vypočítá následovně [22]:

$$e = \frac{p_c \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p_c} \quad (4.1)$$

nebo

$$e = \frac{p_c \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z - p_c} \quad (4.2)$$

kde:

e	tloušťka stěny	[mm]
p _c	jmenovitý tlak	[MPa]
D _o	vnější průměr	[mm]
D _i	vnitřní průměr	[mm]
f	dovolené namáhání	[MPa]
z	součinitel hodnoty spoje	[-]

Tab. č. 9 Veličiny

Předchozí dvě rovnice ovšem platí pouze pokud $D_o/D_i \leq 1,7$. Pokud je hodnota $D_o/D_i > 1,7$, vztah pro minimální tloušťku stěny e potrubí se vypočítá následovně:

$$e = \frac{D_o}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{f \cdot z - p_c}{f \cdot z + p_c}}\right) \quad (4.3)$$

nebo

$$e = \frac{D_i}{2} \cdot \left(\sqrt{\frac{f \cdot z + p_c}{f \cdot z - p_c}} - 1\right) \quad (4.4)$$

Dovolené namáhání f se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$f = \min\left\{\frac{R_e}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right\} \quad (4.5)$$

Součinitel hodnoty spoje z se používá ve výpočtu tloušťky stěny potrubí, které obsahuje jeden nebo několik tupých svarů jiných než obvodových a nesmí překračovat hodnoty dle ČSN 13480. Pro potřeby této diplomové práce byl vybrán součinitel hodnoty $z=1$.

V případě výpočtu potrubní části, na které se nachází ohyb nebo oblouk, je nutné použít následující rovnice:

$$e_{int} = e \cdot \frac{\left(\frac{R}{D_o}\right)^{-0,25}}{\left(\frac{R}{D_o}\right)^{-0,5}} \quad (4.6)$$

nebo

$$e_{ext} = e \cdot \frac{\left(\frac{R}{D_o}\right)^{+0,25}}{\left(\frac{R}{D_o}\right)^{+0,5}} \quad (4.7)$$

kde:

e	tloušťka stěny (pro přímou trubku)	[mm]
e _{int}	tloušťka stěny na vnitřní straně ohybu	[mm]
e _{ext}	tloušťka stěny na vnější straně ohybu	[mm]
R	poloměr ohybu nebo oblouku	[mm]

Tab. č. 10 Veličiny

Výše uvedený postup výpočtu minimální tloušťky stěny neuvažuje korozní přídavek.

Pro každý naměřený bod byla vypočtena minimální tloušťka stěny pro potrubí zatížené vnitřním tlakem dle předchozích rovnic. U samotných kolektorů, kde je tlak a teplota rozdílná v závislosti na otevření příslušného odvaděče, byly pro výpočet konzervativně vybrány nejvyšší příslušné parametry. Vzorový výpočet pro bod č. 104 u VT kolektoru je uveden v následujících krocích.

Nejprve je nutné určit dovolené namáhání v závislosti na mezi kluzu a mezi pevnosti, kde příslušná teplota v daném úseku potrubí se určí dle kap. 1.1.1.

$$R_e(t = 250 \text{ } ^\circ\text{C}) = 205 \text{ MPa}$$

$$R_m = 440 \text{ MPa}$$

$$f = \min\left\{\frac{R_e}{1,5}; \frac{R_m}{2,4}\right\} = \min\left\{\frac{205}{1,5}; \frac{440}{2,4}\right\} = \min\{136,6; 183,3\} = 136,6 \text{ MPa}$$

Následně je určen poměr mezi vnitřním a vnějším průměrem potrubí. Rozměr potrubí v daném úseku je dle technologických schémat $\varnothing 31,8 \times 3,2 \text{ mm}$.

$$\frac{D_o}{D_i} = \frac{31,8}{31,8 - 2 \cdot 3,2} = 1,25 < 1,7$$

Jmenovitý tlak se určí dle kap. 1.1.1.

$$p_c = 4,32 \text{ MPa}$$

Nyní lze určit minimální tloušťku stěny pro přímé potrubí dle výše uvedeného vzorce.

$$e = \frac{p_c \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p_c} = \frac{4,32 \cdot 31,8}{2 \cdot 136,6 \cdot 1 + 4,32} = 0,49 \approx 0,5 \text{ mm}$$

Jelikož se v bodě č. 104 nachází trubkový oblouk o poloměru $R=38 \text{ mm}$, je nutné určit minimální tloušťky stěn na vnější a vnitřní straně oblouku.

$$e_{int} = e \cdot \frac{\left(\frac{R}{D_o}\right) - 0,25}{\left(\frac{R}{D_o}\right) - 0,5} = 0,49 \cdot \frac{\left(\frac{38}{31,8}\right) - 0,25}{\left(\frac{38}{31,8}\right) - 0,5} = 0,67 \approx 0,7 \text{ mm}$$

$$e_{ext} = e \cdot \frac{\left(\frac{R}{D_o}\right) + 0,25}{\left(\frac{R}{D_o}\right) + 0,5} = 0,49 \cdot \frac{\left(\frac{38}{31,8}\right) + 0,25}{\left(\frac{38}{31,8}\right) + 0,5} = 0,42 \approx 0,5 \text{ mm}$$

Nejmenší naměřená tloušťka stěny v daném úseku byla 3 mm, původní tloušťka stěny byla 3,2 mm. Při porovnání s vypočtenou minimální tloušťkou stěny potrubí je zřejmé, že dané místo v rámci výpočtu v současné době vyhovuje.

V následující tabulce jsou uvedeny minimální vypočtené tloušťky stěn pro všechna změřená místa na VT a NT kolektoru a odbočkách.

VT kolektor odvodnění

Bod	Tloušťka stěny změřená [mm]	Minimální vypočtená tloušťka stěny e [mm]	Bod	Tloušťka stěny změřená [mm]	Minimální vypočtená tloušťka stěny e [mm]
1	5,3	4,3	45	2,6	0,2
2	5,4	4,3	46	1,9	0,3
3	5,4	4,3	49	3	0,2
4	4,9	4,3	55	2,3	0,5
5	4,3	4,3	56	3,6	0,5
6	4,6	4,3	58	2,8	0,2
7	4,5	4,3	59	2,4	0,2
8	4,9	4,3	61	3	0,2
9	4,9	4,3	62	3,5	0,2
10	4,7	4,3	66	2,5	0,1
11	4,2	4,3	69	2,5	0,2
12	3,5	4,3	72	3	0,1
13	6,2	4,3	73	3,3	0,1
14	6,4	4,3	75	10,4	0,3
15	6,4	4,3	78	2,4	0,2
16	5,1	4,3	79	2,2	0,2
17	3,2	4,3	80	2,3	0,2
18	4,5	4,3	81	2,7	0,1
19	5,9	4,3	82	2,1	0,1
20	5,5	4,3	87	11,5	0,6

21	4,3	4,3	90	2,9	0,5
22	5,2	4,3	91	3,5	0,5
23	5,2	4,3	92	3,5	0,5
24	5	4,3	93	8,4	0,2
25	4,9	4,3	96	2,1	0,2
26	5	4,3	97	2	0,2
27	5,3	4,3	98	2,1	0,2
28	5,6	4,3	99	7,5	0,4
29	5,8	4,3	102	2,9	0,7
30	5,6	4,3	103	3,2	0,7
31	5	4,3	104	3	0,7
32	5,1	4,3	107	3	0,4
33	4,8	4,3	108	3	0,4
34	5,7	1,4	109	3,1	0,4
35	5,9	1,4	111	6,2	4,3
37	2,9	0,7	112	4	3,5
38	2,7	0,7	113	4	3,5
40	4,7	0,3	114	4	3,5
43	1,8	0,2	115	4,6	3,5
44	2,6	0,2	116	4	4,5

Tab. č. 11 VT kolektor vypočtené hodnoty

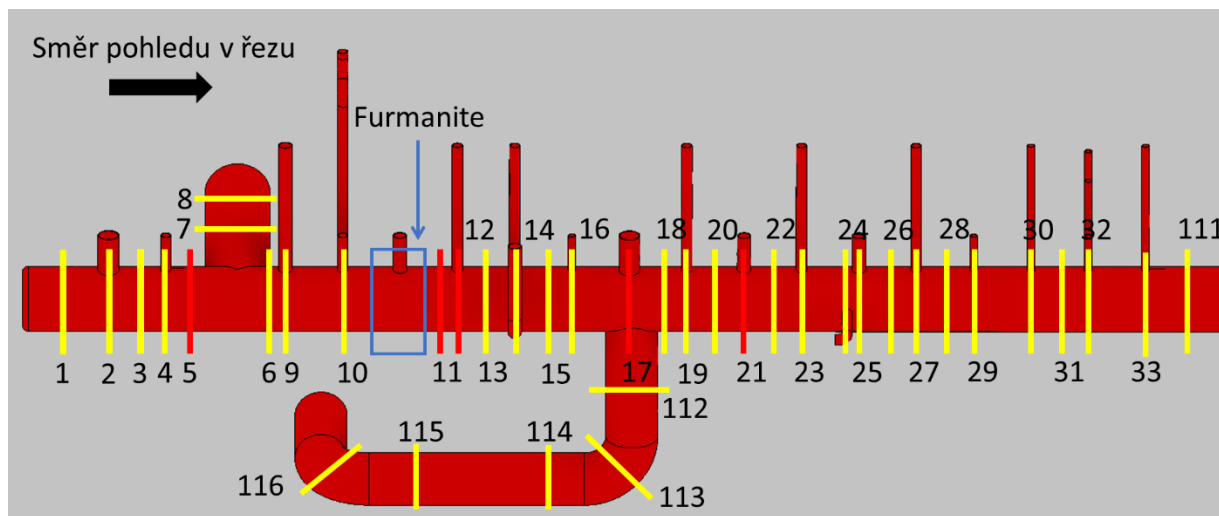
NT kolektor odvodnění

Bod	Tloušťka stěny změřená [mm]	Minimální vypočtená tloušťka stěny e [mm]	Bod	Tloušťka stěny změřená [mm]	Minimální vypočtená tloušťka stěny e [mm]
1	6,3	0,5	49	7,1	0,1
2	6,7	0,5	50	2,9	0,1
3	6,4	0,5	52	1,7	0,1
4	6,9	0,5	53	1,4	0,1
5	6,6	0,5	54	1,8	0,1
6	6,5	0,5	55	1	0,1
7	6,1	0,5	56	0,8	0,2
8	7,1	0,5	59	2,3	0,2
9	6,9	0,5	60	2,6	0,1
10	5,8	0,5	61	2,7	0,1
11	6,4	0,5	62	2,4	0,1
12	6,6	0,5	66	2,5	0,1
13	6,3	0,5	67	2	0,1
14	5,5	0,5	68	2,7	0,1

15	6,6	0,5	69	2,8	0,1
16	6,3	0,5	70	2,6	0,1
17	6,5	0,5	72	2,6	0,1
18	6,6	0,5	73	2,4	0,1
19	5,9	0,5	74	2,5	0,1
20	5,6	0,5	75	11,9	0,1
21	6,3	0,5	76	2,4	0,1
22	6,8	0,5	78	2	0,1
23	6,1	0,5	79	2,1	0,1
24	7,3	0,5	80	2,3	0,1
25	6,3	0,5	81	9,5	0,1
26	6,7	0,5	82	2,1	0,1
27	7,6	0,5	87	2,5	0,1
28	6,8	0,5	88	2,6	0,1
29	6,3	0,5	89	2,7	0,1
30	6	0,5	90	12	0,2
31	6,5	0,5	91	2,9	0,2
32	5,8	0,5	93	2,5	0,2
33	6,3	0,5	94	2,6	0,2
34	2,3	0,1	95	2,6	0,2
35	2,1	0,1	96	11,9	0,2
36	2,2	0,1	97	2,7	0,2
37	6,5	0,1	99	1,8	0,2
38	2,5	0,1	100	2	0,2
40	5,3	0,1	101	2,3	0,2
41	2,3	0,1	102	5,5	0,2
43	2,2	0,1	107	8,5	0,2
44	1,8	0,1	108	8,3	0,2
45	2,2	0,1	109	8,4	0,2
46	2,3	0,1	110	5,5	0,5

Tab. č. 12 NT kolektor vypočtené hodnoty

V tabulce obsahující hodnoty VT kolektoru jsou červeně zvýrazněna místa, která by dle výpočtu podle ČSN EN 13480 nemusela vyhovovat. Pro výpočet však byly uvažovány maximální tlaky a teploty, které by se v kolektoru mohly nacházet. Při běžném provozu nebo při najíždění, tj. pokud odvaděče periodicky vypouštějí kondenzát nebo pokud jsou při najíždění otevřeny obtokové ruční armatury, kondenzát protéká potrubím o relativně malém průměru v porovnání s kolektorem odvodnění. Pokud se dostane do kolektoru, jeho tlak rychle klesá a kondenzát expanduje, tj. tvoří se parovodní směs. Z toho důvodu jsou nejvyššími tlaky a teplotami namáhaná pouze místa v blízkosti přípojek, tj. připojení a) a j) dle kapitoly č. 1. Možná nebezpečná místa, u kterých vypočtená tloušťka nevyhovovala jsou zobrazena na následujícím obrázku červeně.

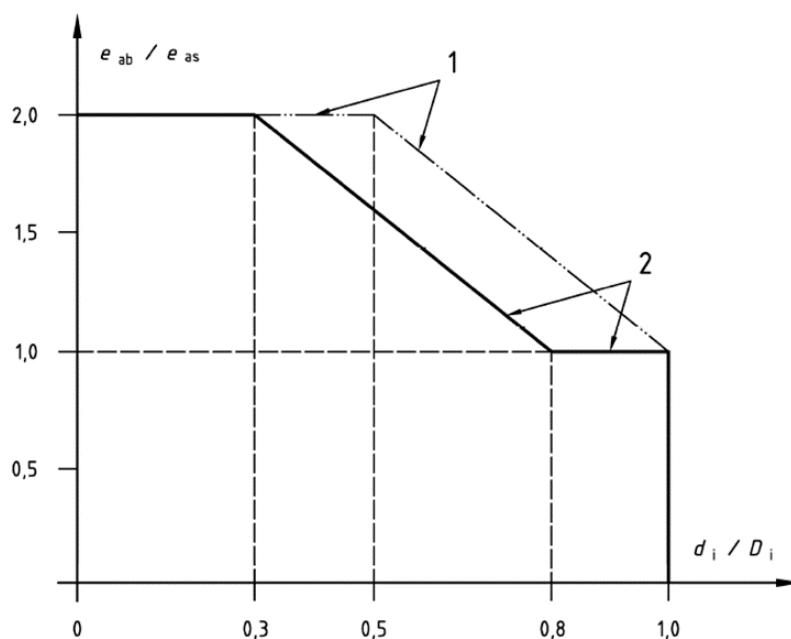


Obr. 4.11 Možná nebezpečná místa

Na samotné vyhodnocení má však daleko větší vliv skutečnost, že na potrubí kolektoru se nachází těsnicí box metody Furmanite. Vzhledem k ceně daného zařízení, tj. trubky 273 x 6,3 mm z materiálu 12022.1, nemá smysl uvažovat o speciálních metodách oprav, jako jsou metody nástřiků apod. V případě tohoto kolektoru odvodnění připadá v úvahu vyřízení části potrubí v místě zeslabené stěny nebo nejlépe celého kolektoru i s odbočkami k nejbližším armaturám, a nahrazení daného úseku novými komponentami. Těsnicí box se nachází i na koleni jedné z přípojek, předchozí navrženou opravou by se vyřešily obě závady současně.

U NT kolektoru odvodnění byly naměřené hodnoty v porovnání s tlakovým zatížením v pořádku. NT kolektor je zhotoven ze stejného materiálu a komponent jako VT kolektor. Při porovnání naměřených hodnot mezi sebou je patrné, že úbytek tloušťky stěny je u VT kolektoru dle předpokladu vyšší z důvodu vyšších parametrů provozního média. I četnost závad na NT kolektoru v průběhu provozu byla nižší, případné opravy byly z důvodu netěsnosti nebo závady na armaturách nebo ve svarech. Při řešení těchto závad byly vyměněny kvůli lepší montáži a demontáži také příslušné potrubní úseky.

Vypočtené hodnoty tloušťek stěn zejména u NT kolektoru s nízkými parametry média vycházeli poměrně nízké, v tabulce jsou všechny hodnoty zaokrouhleny nahoru na hodnotu 0,1 mm. Z předchozího výpočtu by se mohlo zdát, že úseky potrubí odboček k armaturám jsou zbytečně předimenzované. Norma ČSN EN 13480 mimo výše uvedený výpočet definuje minimální poměr tloušťek stěn mezi přípojem a hlavním potrubím, který je důležité dodržet zejména z technologických důvodů. Tento poměr definovaný jako e_{ab}/e_{as} , kde e_{ab} je minimální tloušťka stěny potrubí odbočky [mm] a e_{as} je minimální tloušťka stěny potrubí hlavního potrubí [mm]. Určuje se v závislosti na poměru d_i/D_i , kde d_i je vnitřní průměr potrubí odbočky a D_i je vnitřní průměr hlavního potrubí [mm] dle následujícího grafu.



Obr. 4.12 Minimální poměr tloušťek stěn mezi potrubím a odbočkou [22]
 křivka 1 platí pro $f < 250$ MPa
 křivka 2 platí pro $f > 250$ MPa

Oba kolektory, tj. NT i VT kolektor mají tloušťku stěny $e_{ab}=6,3$ mm a vnitřní průměr $D_i=260,4$ mm. Minimální tloušťky připojených odboček by v době montáže zařízení měli mít následující hodnoty.

Vnější průměr D_0 [mm]	Minimální tloušťka stěny [mm]
31,8	3,15
44,5	3,15
57	3,15
89	3,7
219	4,2

Tab. č. 13 Minimální tloušťky stěny dle poměru průměrů

Z předchozí tabulky je patrné, proč jsou části potrubí tvořící připojené odbočky vyrobeny z tlustostěnných materiálů, např. trubka o průměru 31,8 mm má v běžném provedení tloušťku stěny pouze 2,6 mm [23].

ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla v kapitole č. 1 provedena rešerše vybraných částí sekundárního okruhu v Jaderné elektrárně Dukovany. Nejdříve bylo uvedeno základní rozdělení systémů sekundárního okruhu, následně byl popsán turbogenerátor a parní turbína K 220-44 a pomocné systémy. Následuje podkapitola, která se věnuje samotnému odvodnění parní turbíny a obsahuje detailní popis teorie odvodnění. Jsou zde také uvedeny parametry páry a kondenzátu a samotný systém odvodnění je zde zobrazen na obrázcích vytvořených z počítačového modelu. Následující podkapitola obsahuje popis a rozdělení systémů rozvodů páry a teorii odvodnění tohoto systému. K dané části model vytvořen nebyl, proto je odvodnění rozvodů páry zobrazeno pouze schématicky. V další podkapitole je stručně popsán systém pomocných nádrží, který se systémy odvodnění rozvodů páry a parní turbíny souvisí. Následující podkapitola obsahuje popis používaných odvaděčů kondenzátu a detailní přehled odvaděčů, které jsou v Jaderné elektrárně Dukovany použity. Poslední podkapitola se zabývá chemickým režimem napájecí vody a popisem systému pro úpravu a zásobování, popř. doplňování vody do elektrárny.

První část kapitoly č. 2 je věnována přehledu koroze kovů se zaměřením na korozi v potrubních systémech. Obsahuje stručný popis různých forem koroze a metod, kterými lze korozi zabránit, popř. ji zpomalit. Druhá část kapitoly č. 2 se zabývá metodami oprav potrubních systémů sekundárních okruhů, zejména popisem metody utěsnění za provozu, která je pro elektrárny typická. Utěsnit za provozu lze netěsnící přírubové spoje, defekty na potrubí i samotné ucpávky armatur.

V kapitole č. 3 je uveden přehled provedených oprav na kolektorech a bateriích odvodnění parní turbíny prvního bloku. Kapitola je rozdělena na VT a NT kolektor, u každého kolektoru je uvedeno několik tabulek dle příslušné armatury, na které byl v minulosti nějaký defekt zaznamenán (popřípadě defekt na potrubí v blízkosti armatury). Každá tabulka obsahuje údaje o umístění příslušné armatury, jmenovitý tlak a teplotu páry/kondenzátu u dané armatury a popis zaznamenaných defektů a oprav v průběhu provozu.

Na začátku kapitoly č. 4 je uveden popis měřící technologie a teorie ultrazvukového měření tloušťek stěn. Následně jsou uvedeny naměřené hodnoty se znázorněním na obrázcích modelů, aby bylo přehledně zobrazeno příslušné místo odpovídající naměřené hodnotě. Naměřené hodnoty jsou uvedeny pro VT a NT kolektor odvodnění společně s odbočkami k nejbližším armaturám. V další části kapitoly č. 4 je uveden výpočet minimální tloušťky stěn potrubních systémů zatížených vnitřním tlakem dle ČSN EN 13480. Vypočtené hodnoty jsou následně srovnány s naměřenými hodnotami a jsou zobrazena možná nebezpečná místa. V závěru kapitoly č. 4 je uvedeno nastínění možných řešení oprav kolektorů. Vzhledem ke skutečnosti, že na kolektoru VT odvodnění se nachází utěšňovací box metody utěšňování za provozu (Furmanite) a v okolí boxu jsou naměřené hodnoty tloušťek stěn nižší, než bylo vypočítáno dle normy, bylo by vhodné potrubí kolektoru i s odbočkami vyměnit. U NT kolektoru vycházely požadované hodnoty tloušťek stěn relativně nízké, je to způsobeno poměrně nízkými parametry (tlak a teplota) kondenzátu. Omezení však vzniká z důvodu minimálního poměru tloušťek stěn mezi hlavním potrubím (kolektoru) a odbočkou k armaturám, kterou je nutno dodržet. Z analýzy minulých závad je patrné, že u NT kolektoru jsou případné defekty většinou způsobené závadou těsnění na armatuře, popř. lokálním pórem ve svaru, který mohl vzniknout ještě při výrobě. Současné zeslabení tloušťek stěn v měřených místech není příliš

nebezpečné. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že NT kolektor s odbočkami není potřeba vyměňovat, stačí pravidelná kontrola případných netěsností a jejich včasné utěsnění za provozu, aby se netěsnost dále nešířila a nedocházelo ke ztrátám provozního média.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Energostat: Oenergetice.cz* [online]. Entso-E Transparency Platform [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energostat>
- [2] *Historie a současnost EDU: Skupina ČEZ - O společnosti*. Skupina ČEZ [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/historie-a-soucasnost>
- [3] *Přesně před 35 lety zahájili energetici stabilní dodávku proudu z Dukovan: Tisková zpráva*. Skupina ČEZ [online]. 2.5.2020 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/presne-pred-35-lety-energetici-zahajili-stabilni-dodavku-proudu-z-dukovan-82605>
- [4] *Historie a předchůdci SÚJB. SÚJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost: O SÚJB* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/15-let-sujb/historie-a-predchudci-sujb>
- [5] *Sekundární část JE VVER 440, Učební texty pro přípravu personálu JE: Modul 2*. Brno, 2020.
- [6] *Rozdělení jednotlivých typů odvaděčů kondenzátu*. Ripra, s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://pdms-help.webnode.cz/news/rozdeleni-jednotlivych-typu-odvadecu-kondenzatu/>
- [7] KRUTIŠ, Petr. *Obslužný provoz jaderné elektrárny: Vodní hospodářství jaderné elektrárny*. Brno, 2013, 26-29. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Vladimír Říha.
- [8] *Vodní hospodářství jaderných energetických zařízení: Chemické režimy*. ČVUT [online]. Fakulta strojní ČVUT v Praze - Ústav energetiky, 2013 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/VHJAE_04_chemicke_rezimy.pdf
- [9] *Part III: Corrosion in Water-Bearing Systems: Corrosion Atlas Series*. In: KHOSHNAW, Fuad a Rolf GUBNER. Corrosion Atlas Case Studies [online]. Elsevier, 2020, s. 59-84 [cit. 2021-5-10]. ISBN 9780128187609. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128187609020043>
- [10] MAREŠ, J. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Novotná, Ph.D., Paed IGIP.
- [11] *Jak se sledují potrubní systémy v elektrárně. Aktivní zóna: On-line časopis Jaderné elektrárny Dukovany* [online]. 2013 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z:

<https://www.aktivnizona.cz/cs/zpravy/jak-se-sleduji-potrubni-systemy-v-elektrarne-17188>

- [12] NOVÁK, P. *Druhy koroze kovů: Koroze a ochrana materiálu*. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha [online]. 2005 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
- [13] ŽABIČKA, Zdeněk a Zdeněk POSPÍCHAL. *Potrubí po 2 letech provozu: Žárově pozinkované ocelové potrubí a koroze*. Tzb-info.cz [online], 2013 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/docu/clanky/0084/008493o2.jpg>
- [14] DOUDA, Jakub. *Protikorozní ochrana strojů a zařízení*. Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.
- [15] *Korozní praskání*. VŠCHT [online]. Praha [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Korozn%C3%AD%20prask%C3%A1n%C3%AD.pdf?redirected>
- [16] *Koroze a ochrana proti korozi - technologie a strojírenství*. Studijni-svet.cz [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://studijni-svet.cz/koroze-a-ochrana-proti-korozi-technologie-a-strojirenstvi/>
- [17] HOUDKOVÁ, Šárka, Zdeněk ČESÁNEK a Petra ŠULCOVÁ. *Povrchové úpravy komponent v klasických a jaderných elektrárnách: Technologie a materiály*. Allforpower.cz [online]. 2020 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/technologie-a-materialy/povrchove-upravy-komponent-v-jadernych-a-klasickych-elektrarnach-285>
- [18] *Furmanite*. Furmanite.snadno.eu [online]. 2018 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <http://www.furmanite.snadno.eu/>
- [19] *USM Go*: PAPco, s.r.o. [online]. Praha: Litvínovská 609/3 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: https://papco.cz/wp-content/uploads/2018/12/soubor1_6.pdf
- [20] JAVŮREK, Petr. *Měření tloušťky vrstev pomocí ultrazvuku s důrazem na měření tenkých vrstev z nekovových materiálů za pomoci měřicího přístroje TT-100*. České Budějovice, 2014. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta Pedagogická, Katedra aplikované fyziky a techniky. Vedoucí práce PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

- [21] ČSN 41 2022: *Ocel 12 022*. Československá státní norma. Vítkovice Železářny a strojířny Klementa Gottwalda, koncernový podnik Ostrava: Výzkumný ústav hutnictví železa Dobrá, 1985.
- [22] *Kovová průmyslová potrubí - část 3: Konstrukce a výpočet: ČSN EN 13480-3*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Listopad 2018.
- [23] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. *Ocelové trubky závitové běžné a bezešvé*. Tzb-info.cz [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/16-ocelove-trubky-zavitove-bezne-a-bezesve>
- [24] SCHEVSKI, Christopher, John PIETRALIK, Tom DYKE a Mike LEWIS. *Flow accelerated corrosion in nuclear power plants: Application of checkworks at Darlington: Candu maintenance conference* [online]. 1995 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/054/29054796.pdf?r=1&r=1
- [25] YUN, Hun, Seung-Jae MOON a Young-Jin OH. *Development of Wall-Thinning Evaluation: Procedure for Nuclear Power Plant Piping - Part 1: Quantification of thickness measurement deviation*, Nuclear Engineering and Technology. Science Direct [online]. Hanyang University, Department of Mechanical Engineering: Seoul, Republic of Korea, 2016 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/journal/nuclear-engineering-and-technology>

SEZNAM ZKRATEK A POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Označení	Popis	Jednotka
D_i	vnitřní průměr potrubí	[mm]
d_i	vnitřní průměr potrubí odbočky	[mm]
D_o	vnější průměr potrubí	[mm]
e	minimální tloušťka stěny	[mm]
e_{ab}	minimální tloušťka stěny potrubí odbočky	[mm]
e_{as}	minimální tloušťka stěny hlavního potrubí	[mm]
e_{ext}	minimální tloušťka stěny na vnější straně ohybu	[mm]
e_{int}	minimální tloušťka stěny na vnitřní straně ohybu	[mm]
f	dovolené namáhání	[MPa]
p_c	jmenovitý vnitřní tlak v potrubí	[MPa]
R	poloměr ohybu nebo oblouku	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
z	součinitel hodnoty spoje	[-]
B	bimetalový odvaděč kondenzátu	
BD	bloková dozorna	
$BÚK$	bloková úprava kondenzátu	
$ENČ$	hlavní napájecí čerpadlo	
EPK	expandér provozních kondenzátů	
H	hladinový odvaděč kondenzátu	
HK	hlavní kondenzátor	
HPK	hlavní parní kolektor	
$CHÚV$	chemická úprava vody	
IPV	impulsní pojistný ventil	
JE	jaderná elektrárna	
$KČ$	kondenzátní čerpadlo	
KKP	kondenzátor komínkové páry	
$MAAE$	Mezinárodní agentura pro atomovou energii	
NN	napájecí nádrž	
NT	nízkotlaký	
NTO	nízkotlaký ohřívač	
NV	napájecí voda	
OV	obtokový ventil	
PG	parogenerátor	
PSK	přepouštěcí stanice do kondenzátoru	
PT	parní turbína	
RV	regulační ventil	
RZK	rychlozávěrná klapka	
RZV	rychlozávěrný ventil	
SNK	sběrná nádrž kondenzátu	

SPP	separátor-přihřívač
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TO	termický odplyňovač
TÚV	tepelná úprava vody
VN	vypouštěcí nádrž
VS	vlastní spotřeba
VT	vysokotlaký
VTO	vysokotlaký ohřívač
ZK	záchytná (regulační) klapka
ZOK	zpětná odběrová klapka
ZRAO	zpracování radioaktivních odpadů

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Schéma tepelného oběhu JE Dukovany	12
Obr. 1.2 T-s diagram oběhu JE Dukovany	13
Obr. 1.3 Schéma parní turbíny K 220-44	17
Obr. 1.4 Schéma systému separace – přihřívání.....	20
Obr. 1.5 Schéma funkce odvodnění parní turbíny.....	22
Obr. 1.6 VT odlučovač kondenzátu.....	24
Obr. 1.7 Znázornění přípojů a baterií VT kolektoru	26
Obr. 1.8 Znázornění přípojů a baterií VT odvodnění.....	26
Obr. 1.9 Znázornění přípojů a baterií NT odvodnění.....	28
Obr. 1.10 Schéma odvodnění rozvodů páry	31
Obr. 1.11 Hladinový odvaděč kondenzátu	35
Obr. 1.12 Funkce hladinového odvaděče kondenzátu.....	36
Obr. 1.13 Bimetalový odvaděč kondenzátu	37
Obr. 1.14 Bimetalový odvaděč kondenzátu – foto	38
Obr. 1.15 Termicko-plovákový odvaděč kondenzátu	39
Obr. 2.1 Rovnoměrná koroze	44
Obr. 2.2 Bodová koroze.....	44
Obr. 2.3 Štěrbínová koroze.....	45
Obr. 2.4 Mezikrystalická koroze	45
Obr. 2.5 Korozní praskání	46
Obr. 2.6 Erozní koroze	47
Obr. 2.7 Erozní koroze uvnitř trubky	48
Obr. 2.8 Přírubový spoj	52
Obr. 2.9 Kroužkový adaptor.....	53
Obr. 2.10 Ouškový adaptor	53
Obr. 2.11 Úhlové matice	54
Obr. 2.12 G-svěrka	55
Obr. 2.13 Obvodové těsnění.....	55
Obr. 2.14 Instalace VT adaptoru	56
Obr. 2.15 Vrtání injektážních otvorů.....	56
Obr. 2.16 Injektáž těsnící hmotou	57
Obr. 2.17 Vsuvná přírubová objímka.....	58
Obr. 2.18 Svěrná objímka s límcem a těsnícími drážkami.....	58
Obr. 2.19 Utěšňování defektů na potrubí	59
Obr. 2.20 Těsnící box	60
Obr. 2.21 Utěšňování ucpávek armatur.....	61
Obr. 2.22 Škrťací adaptor	61
Obr. 4.1 Pohled na VT kolektor	70
Obr. 4.2 Impulsová odrazová metoda.....	71
Obr. 4.3 Obroušená měřící místa.....	73
Obr. 4.4 Referenční stupňovitá měrka.....	73
Obr. 4.5 Schéma měřících míst VT kolektoru.....	75

Obr. 4.6 Schéma měřicích míst VT kolektoru - odbočky.....	75
Obr. 4.7 Schéma měřicích míst VT kolektoru – odbočky	76
Obr. 4.8 Schéma měřicích míst NT kolektoru.....	79
Obr. 4.9 Schéma měřicích míst NT kolektoru – odbočky	79
Obr. 4.10 Schéma měřicích míst NT kolektoru - odbočky.....	80
Obr. 4.11 Možná nebezpečná místa	89
Obr. 4.12 Minimální poměr tloušťek stěn mezi potrubím a odbočkou.....	90

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Parametry odběrů	19
Tab. č. 2 Parametry VT odvodnění	25
Tab. č. 3 Parametry NT odvodnění	27
Tab. č. 4 Parametry USM GO+	71
Tab. č. 5 VT kolektor naměřené hodnoty	78
Tab. č. 6 NT kolektor naměřené hodnoty	82
Tab. č. 7 Mez kluzu 12 022	83
Tab. č. 8 Mez pevnosti 12 022	83
Tab. č. 9 Veličiny	84
Tab. č. 10 Veličiny	85
Tab. č. 11 VT kolektor vypočtené hodnoty	87
Tab. č. 12 NT kolektor vypočtené hodnoty	88
Tab. č. 13 Minimální tloušťky stěny dle poměru průměrů.....	90